



**TUGAS AKHIR - RE 141581**

**PEMODELAN DAYA TAMPUNG BEBAN  
PENCEMAR DAN OPTIMASI LIMPASAN AIR  
LIMBAH KE SUNGAI KALI SURABAYA  
(SEGMENT CANGKIR - SEPANJANG)**

ANNISA ALIFFIA

03211440000043

Dosen Pembimbing:

Prof. Dr. Ir. Nieke Karnaningroem, M.Sc

DEPARTEMEN TEKNIK LINGKUNGAN

Fakultas Teknik Sipil, Lingkungan, dan Kebumihan

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Surabaya 2018







**TUGAS AKHIR - RE 141581**

**PEMODELAN DAYA TAMPUNG BEBAN  
PENCEMAR DAN OPTIMASI LIMPASAN AIR  
LIMBAH KE SUNGAI KALI SURABAYA  
(SEGMENT CANGKIR - SEPANJANG)**

**ANNISA ALIFFIA  
0321144000043**

**Dosen Pembimbing  
Prof. Dr. Ir. Nieke Karnaningroem, M.Sc**

**DEPARTEMEN TEKNIK LINGKUNGAN  
Fakultas Teknik Sipil, Lingkungan dan Kebumihan  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya 2018**





**FINAL PROJECT - RE 141581**

***POLLUTION LOAD CAPACITY MODELING  
AND RUNOFF OPTIMIZATION OF WASTE  
WATER TO KALI SURABAYA RIVER  
(CANGKIR - SEPANJANG SEGMENT)***

**ANNISA ALIFFIA  
03211440000043**

***Supervisor***  
**Prof. Dr. Ir. Nieke Karnaningroem, M.Sc**

***DEPARTEMENT OF ENVIRONMENTAL ENGINEERING  
Faculty of Civil, Environmental, and Geo Engineering  
Institute of Technology Sepuluh Nopember  
Surabaya 2018***



## HALAMAN PENGESAHAN

### PEMODELAN DAYA TAMPUNG BEBAN PENCEMAR DAN OPTIMASI LIMPASAN AIR LIMBAH KE SUNGAI KALI SURABAYA (SEGMENT CANGKIR – SEPANJANG)

#### TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat Memperoleh Gelar  
Sarjana Teknik  
pada

Program Studi S-1 Departemen Teknik Lingkungan  
Fakultas Teknik Sipil, Lingkungan dan Kebumihantanan  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

**ANNISA ALIFFIA**

NRP. 03211440000043

Disetujui oleh Pembimbing Tugas Akhir



Prof. Dr. Ir. Nieke Karnaningroem, M.Sc  
NIP. 19550128 198503 2 001







## **PEMODELAN DAYA TAMPUNG BEBAN PENCEMAR DAN OPTIMASI LIMPASAN AIR LIMBAH KE SUNGAI KALI SURABAYA (SEGMENT CANGKIR – SEPANJANG)**

Nama Mahasiswa : Annisa Aliffia  
NRP : 3211440000043  
Departemen : Teknik Lingkungan  
Dosen Pembimbing : Prof. Dr. Ir. Nieke Karnaningroem, M.Sc

### **ABSTRAK**

Pemanfaatan sungai Kali Surabaya sebagai penyedia bahan baku untuk air minum terkendala oleh pencemaran yang berasal dari limbah domestik, limbah industri dan kegiatan pertanian di sekitar bantaran sungai. Hasil analisa kualitas air sungai diketahui melebihi baku mutu sungai kelas satu, sehingga sungai dalam kondisi tercemar. Oleh karena itu, diperlukan suatu upaya untuk mempertahankan kualitas air sungai agar sesuai dengan peruntukannya.

Penelitian ini bertujuan untuk menghitung daya tampung beban pencemar menggunakan model QUAL2Kw dan menentukan konsentrasi BOD maksimum yang boleh dibuang ke sungai dengan program dinamik. Wilayah studi dimulai dari Cangkir hingga Sepanjang yang terbagi menjadi tiga segmen. Parameter yang di uji meliputi pH, temperatur, DO, BOD, dan COD. Data yang dibutuhkan yaitu data primer dengan sampling di beberapa titik yang dianggap mewakili kondisi sumber pencemar. Sedangkan data sekunder meliputi data klimatologi, jumlah penduduk, hidraulik sungai, debit dan kualitas air sumber pencemar yang berasal dari instansi terkait.

Hasil perhitungan menunjukkan bahwa beban pencemar yang masuk melebihi daya tampungnya. Besaran beban pencemar yang masuk di setiap segmen yaitu 12.416 kg/hari, 23.180 kg/hari, dan 17.759 kg/hari. Sedangkan daya tampung beban pencemar (DTBP) adalah 1.681 kg/hari, 1.138 kg/hari, dan 1.398 kg/hari. Optimasi dilakukan untuk menentukan nilai BOD maksimum air limbah yang diizinkan masuk ke sungai yaitu sebesar 194,74 mg/L pada segmen satu, 197,65 mg/L pada segmen 2 dan 193,71 mg/L pada segmen tiga.

**Kata Kunci : Kali Surabaya, Daya tampung, QUAL2Kw, Multistage Programming, Optimasi air limbah**

**“Halaman ini sengaja dikosongkan”**

# **POLLUTION LOAD CAPACITY MODELING AND RUNOFF OPTIMIZATION OF WASTE WATER TO KALI SURABAYA RIVER (CANGKIR – SEPANJANG SEGMENT)**

Student's Name : Annisa Aliffia  
Student's Number : 3211440000043  
Departement : Teknik Lingkungan  
Supervisor : Prof. Dr. Ir. Nieke Karnaningroem, M.Sc

## **ABSTRACT**

The Utilization of Kali Surabaya River as water resources for drinking water is constrained by pollution from domestic and industrial waste and agricultural activities around the river banks. The result of river water quality analysis indicated that it was exceed the water quality standard of first class, so the river is polluted. Therefore, an effort is needed to maintain the quality of river water in accordance with its requirements.

This study aims to calculate the pollution load capacity using the QUAL2Kw model and determine the maximum BOD concentration that can be discharged into the river by a dynamic program. Study area starts from Cangkir to Sepanjang which is divided into three segments. Water quality parameters analyzed were pH, temperature, DO, BOD, and COD. The required data include primary data by sampling at certain point which is considered to represent the condition of pollutant source. Secondary data include climatology, population, river hydraulic, discharge and quality of pollution obtained from related institution.

The result indicated that the pollutant load exceeds its capacity. Based on the simulation result, the value of pollutant load in each segment for BOD is 12.416 kg/day, 23.180 kg/day, and 17.759 kg/day. While the pollution load capacity (DTBP) in each segment is 1,681 kg / day, 1,138 kg / day, and 1,398 kg / day. Optimization was performed to determine the maximum BOD value of wastewater that was allowed into the river that is 194,74 mg/L in segment one, 197,65 mg/L in segment 2 and 193,71 mg/L in segment three.

**Key word(s) : Kali Surabaya River, Pollution load capacity, QUAL2Kw, Multistage Programming, Runoff optimization**

**“Halaman ini sengaja dikosongkan”**

## KATA PENGANTAR

Puji syukur saya panjatkan kepada Tuhan YME, karena atas rahmat dan karunia-Nya Tugas Akhir dengan judul **“Pemodelan Daya Tampung Beban Pencemar dan Optimasi Limpasan Air Limbah Ke Sungai Kali Surabaya (Segmen Cangkir - Sepanjang)”** dapat saya selesaikan. Tugas akhir ini disusun untuk memenuhi persyaratan mendapatkan gelar Sarjana Teknik di Departemen Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik Sipil, Lingkungan dan Kebumihan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.

Dalam kesempatan ini, penulis ingin menyampaikan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Prof. Dr. Ir. Nieke Karnaningroem, M.Sc, selaku dosen pembimbing yang telah banyak membantu dan membimbing selama proses pengerjaan Tugas Akhir,
2. Adhi Yuniarto, ST., MT., Ph.D, selaku Ketua Departemen Teknik Lingkungan atas kesempatan yang diberikan kepada penulis untuk melaksanakan Tugas Akhir,
3. Ir. Atiek Moesriati, M.Kes; Dr. Ir. R. Irwan Bagyo Santoso, MT; dan Harmin Sulistyaning Titah, ST., MT., Ph.D selaku dosen penguji yang telah memberikan saran dan masukan pada Tugas Akhir ini,
4. Kedua orang tua, keluarga, dan sahabat yang selalu memberikan motivasi dan dukunganya,
5. Angkatan 2014 dan seluruh pihak yang secara langsung maupun tidak langsung memberikan bantuan kepada penulis.

Dalam penulisan tugas akhir ini telah diusahakan semaksimal dan sebaik mungkin, namun tentunya masih terdapat keterbatasan dan kekurangan, sehingga penulis mengharapkan kritik dan saran yang membangun guna memperbaiki di kemudian hari.

Surabaya, Juli 2018

Penulis

**“Halaman ini sengaja dikosongkan”**

## DAFTAR ISI

ABSTRAK.....	i
ABSTRACT .....	iii
KATA PENGANTAR .....	v
DAFTAR ISI .....	vii
DAFTAR GAMBAR.....	ix
DAFTAR TABEL.....	xi
BAB 1.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	3
1.3 Tujuan.....	3
1.4 Ruang Lingkup.....	4
1.5 Manfaat.....	5
BAB 2.....	7
2.1 Gambaran Umum Kali Surabaya.....	7
2.2 Sumber Pencemaran Air Sungai .....	8
2.3 Klasifikasi dan Kriteria Mutu Air Sungai.....	10
2.4 Parameter Kualitas Air.....	11
2.4.1 Suhu .....	11
2.4.2 pH atau Derajat Keasaman .....	11
2.4.3 <i>Dissolved Oxygen</i> (DO).....	12
2.4.4 <i>Biochemical Oxygen Demand</i> (BOD).....	12
2.4.5 <i>Chemical Oxygen Demand</i> (COD) .....	13
2.5 <i>Self Purification</i> .....	14
2.6 Daya Tampung Beban Pencemaran .....	15
2.7 Pemodelan dengan QUAL2Kw.....	20
2.8 Program Dinamik .....	26
BAB 3.....	29
3.1 Umum .....	29
3.2 Kerangka Penelitian.....	29
3.3 Langkah Penelitian .....	29
3.3.1 Ide Penelitian.....	31
3.3.2 Tinjauan Pustaka.....	31
3.3.3 Pengumpulan Data.....	31
3.3.4 Pengukuran Data Hidrolik Sungai .....	34



3.3.5	Sampling Kualitas Air.....	36
3.3.6	Pengolahan Data dengan QUAL2Kw .....	38
3.3.7	Perhitungan Daya Tampung.....	43
3.3.8	Pengolahan Data dengan Program Dinamik .....	43
3.3.9	Analisa dan Pembahasan.....	44
3.3.10	Kesimpulan dan Saran .....	44
BAB 4	.....	45
4.1	Data Eksisting Kali Surabaya .....	45
4.1.1	Segmentasi Kali Surabaya .....	45
4.1.2	Data Klimatologi Kota Surabaya.....	48
4.1.3	Data Hidrolik Kali Surabaya.....	48
4.1.4	Data Kualitas Air Sungai Kali Surabaya .....	50
4.2	Prediksi Sumber Pencemar Kali Surabaya.....	51
4.3	Debit dan Kualitas Air Sumber Pencemar .....	54
4.3.1	Pencemar Dari Limbah Domestik.....	54
4.3.2	Pencemar Dari Limbah Industri .....	56
4.4	Pemodelan Kualitas Air Sungai Kali Surabaya.....	60
4.4.1	Pembangunan Model.....	60
4.4.2	Simulasi Kualitas Air Kali Surabaya .....	67
4.5	Perhitungan Beban Pencemar Kali Surabaya .....	83
4.6	Perhitungan Daya Tampung Beban Pencemaran Sungai Kali Surabaya.....	86
4.7	Optimasi Limpasan Air Limbah dengan Program Dinamik ( <i>Multistage Programming</i> ) .....	89
4.7.1	Perhitungan Optimasi Limpasan Air Limbah Segmen Cangkir – Bambi .....	91
4.7.2	Perhitungan Optimasi Limpasan Air Limbah Segmen Bambi – Karangpilang .....	94
4.7.3	Perhitungan Optimasi Limpasan Air Limbah Segmen Karangpilang – Sepanjang .....	96
BAB 5	.....	101
5.1	Kesimpulan .....	101
5.2	Saran .....	103
DAFTAR PUSTAKA	.....	105
LAMPIRAN A	.....	109
LAMPIRAN B	.....	113
LAMPIRAN C	.....	117
BIOGRAFI PENULIS	.....	123

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Kondisi Kali Surabaya.....	7
Gambar 2. 2 <i>Mass balance</i> di setiap segmen (i) .....	21
Gambar 2. 3 Worksheet QUAL2Kw Versi 5.0.....	23
Gambar 2. 4 Diagram Jaringan Keputusan .....	26
Gambar 2. 5 Program Dinamik Deterministik .....	27
Gambar 2. 6 Program Dinamik Probabilistik.....	28
 Gambar 3. 1 Kerangka Penelitian.....	 30
Gambar 3. 2 Penampang melintang pengukuran debit .....	35
Gambar 3. 3 Titik Pengambilan Sampel .....	36
Gambar 3. 4 Diagram Alir Program Dinamik Untuk .....	44
 Gambar 4. 1 Peta Kali Surabaya Segmen Cangkir – Bambe .....	 47
Gambar 4. 2 Peta Kali Surabaya Segmen Bambe – Karangpilang .....	47
Gambar 4. 3 Peta Kali Surabaya Segmen Karangpilang – Sepanjang..	48
Gambar 4. 4 kalibrasi Data Hidrolik Program QUAL2Kw.....	62
Gambar 4. 5 kalibrasi Data Kualitas Air Program QUAL2Kw .....	63
Gambar 4. 6 Perbandingan Model dengan Data Debit.....	64
Gambar 4. 7 Perbandingan Model dengan Data Kecepatan .....	64
Gambar 4. 8 Perbandingan Model dengan Data Kedalaman .....	65
Gambar 4. 9 Perbandingan Model dengan Parameter pH .....	68
Gambar 4. 10 Perbandingan Model dengan Parameter Suhu.....	69
Gambar 4. 11 Perbandingan Model dengan Parameter DO.....	70
Gambar 4. 12 Perbandingan Model dengan Parameter BOD .....	71
Gambar 4. 13 Perbandingan Model dengan Parameter COD .....	71
Gambar 4. 14 Nilai Fitness Hasil Pemodelan .....	74
Gambar 4. 15 Perbandingan Nilai DO Simulasi 1 dan 2.....	76
Gambar 4. 16 Perbandingan Nilai BOD Simulasi 1 dan 2 .....	77
Gambar 4. 17 Perbandingan Nilai COD Simulasi 1 dan 2 .....	78
Gambar 4. 18 Profil DO Kali Surabaya Pada Simulasi 3 .....	79
Gambar 4. 19 Profil COD Kali Surabaya Pada Simulasi 3 .....	80
Gambar 4. 20 Profil BOD Kali Surabaya Pada Simulasi 3.....	80
Gambar 4. 21 Perbandingan Nilai DO Baku Mutu Dengan Model.....	82
Gambar 4. 22 Perbandingan Nilai BOD Baku Mutu Dengan Model .....	82
Gambar 4. 23 Perbandingan Nilai COD Baku Mutu Dengan Model .....	83
Gambar 4. 24 DTBP Parameter BOD.....	87
Gambar 4. 25 DTBP Parameter COD .....	87

**“Halaman ini sengaja dikosongkan”**

## DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Klasifikasi Sumber Pencemar Air.....	10
Tabel 2. 2 Biodegradability Index .....	14
Tabel 2. 3 Konstanta Reaerasi .....	18
Tabel 3. 1 Kebutuhan Air Bersih Untuk Fasilitas Umum .....	32
Tabel 3. 2 Kebutuhan Air Bersih Untuk Domestik.....	33
Tabel 3. 3 Faktor Emisi Sumber Tak Tentu .....	34
Tabel 3. 4 Cara Pengawetan Sampel Air .....	38
Tabel 3. 5 Skenario Simulasi .....	41
Tabel 4. 1 Segmentasi Kali Surabaya .....	46
Tabel 4. 2 data klimatologi kota surabaya tahun 2017 .....	49
Tabel 4. 3 Data Hidrolik Kali Surabaya.....	50
Tabel 4. 4 Data Kualitas Air Sungai Kali Surabaya Tahun 2018.....	50
Tabel 4. 5 Jumlah Sumber Pencemar Fasilitas Pendidikan .....	52
Tabel 4. 6 Jumlah Sumber Pencemar Fasilitas Pasar .....	52
Tabel 4. 7 Jumlah Sumber Pencemar Fasilitas Pertokoan .....	52
Tabel 4. 8 Jumlah Sumber Pencemar Fasilitas Puskesmas.....	52
Tabel 4. 9 Jumlah Sumber Pencemar Fasilitas Rumah Sakit.....	53
Tabel 4. 10 Jumlah Sumber Pencemar Fasilitas Rumah Makan .....	53
Tabel 4. 11 Jumlah Sumber Pencemar Fasilitas Tempat Ibadah .....	53
Tabel 4. 12 Jumlah Industri Sebagai Sumber Pencemar .....	53
Tabel 4. 13 Jumlah Rumah dan Penduduk Sebagai Sumber Pencemar Domestik.....	54
Tabel 4. 14 Perhitungan Debit Air Limbah Domestik .....	55
Tabel 4. 15 Perhitungan Kualitas Air Limbah Domestik.....	55
Tabel 4. 16 Kualitas Air Sumber Pencemar Fasilitas Umum .....	56
Tabel 4. 17 Perhitungan Debit Sumber Pencemar Fasilitas Umum.....	57
Tabel 4. 18 Debit dan Kualitas Air Limbah Industri.....	59
Tabel 4. 19 Pengambilan Air Kali Surabaya .....	59
Tabel 4. 20 Hasil Validasi Model Parameter Debit .....	66
Tabel 4. 21 Hasil Validasi Model Parameter Kecepatan.....	67
Tabel 4. 22 Hasil Validasi Model Parameter Kedalaman.....	67
Tabel 4. 23 Hasil Validasi Model Parameter pH .....	69
Tabel 4. 24 Hasil Validasi Model Parameter Temperatur .....	70
Tabel 4. 25 Hasil Validasi Model Parameter DO .....	72
Tabel 4. 26 Hasil Validasi Model Parameter bod.....	72
Tabel 4. 27 Hasil Validasi Model Parameter COD.....	73

Tabel 4. 28 Perhitungan Jumlah Penduduk Tahun 2023 .....	75
Tabel 4. 29 Perhitungan Debit Air Limbah Domestik Tahun 2023.....	75
Tabel 4. 30 Perhitungan Kualitas Air Limbah Domestik Thn. 2023 .....	76
Tabel 4. 31 Perbandingan Nilai DO Simulasi 1 dan 2 .....	77
Tabel 4. 32 Perbandingan Nilai BOD Simulasi 1 dan 2 .....	77
Tabel 4. 33 Perbandingan Nilai COD Simulasi 1 dan 2.....	78
Tabel 4. 34 Beban Pencemar Simulasi 1 .....	84
Tabel 4. 35 Beban Pencemar Simulasi 2 .....	84
Tabel 4. 36 Proporsi Beban Pencemar Kali Surabaya .....	85
Tabel 4. 37 Beban Pencemar Simulasi 4 .....	86
Tabel 4. 38 Beban Pencemar Simulasi 3 .....	86
Tabel 4. 39 Daya Tampung Beban Pencemar Kali Surabaya .....	88
Tabel 4. 40 Perbandingan Daya Tampung Terhadap Beban Pencemar Eksisting (Simulasi 1) Yang Masuk .....	88
Tabel 4. 41 Perbandingan Daya Tampung Terhadap Beban Pencemar Prediksi Thn. 2023 (Simulasi 2) Yang Masuk .....	89
Tabel 4. 42 Data Sekunder Kualitas Air Kali Surabaya .....	90
Tabel 4. 43 BOD Maksimum Yang Boleh Dibuang Ke Kali Surabaya Segmen Cangkir-Bambe .....	93
Tabel 4. 44 BOD Maksimum Yang Boleh Dibuang Ke Kali Surabaya Segmen Bambe-Karangpilang .....	95
Tabel 4. 45 BOD Maksimum Yang Boleh Dibuang Ke Kali Surabaya Segmen Karangpilang-Sepanjang.....	98

# BAB 1

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Sungai Gembong merupakan salah satu sungai yang mengalir ditengah Kota Pasuruan dimana fungsi utamanya sebagai drainase alami yang mengalir bebas menuju lautan Selat Madura (KKS Kota Pasuruan, 2011). Pemanfaatan potensi Sungai Gembong sebagai penyedia air bersih terkendala oleh kecenderungan kualitas air yang sangat rendah. Berdasarkan hasil analisa kualitas air Sungai Gembong dengan metode storet, diketahui melampaui baku mutu air kelas III sehingga sungai dalam kondisi tercemar (DLH Kota Pasuruan, 2015). Sungai Gembong bagian hulu dimanfaatkan sebagai jaringan pembuangan dari kegiatan pertanian, sedangkan dibagian tengah dan hilir dimanfaatkan sebagai pembuangan limbah dari kegiatan industri dan pemukiman warga. Menurut Hemant (2014) pencemaran dan kontaminasi baik yang berasal dari *point source* dan *non-point source* dapat menyebabkan penurunan kualitas air sehingga berdampak pada penurunan kemampuan sungai untuk memulihkan diri secara alamiah (*self-purification*).

Berdasarkan uraian diatas maka diperlukan suatu upaya untuk mempertahankan kualitas air Sungai Gembong agar sesuai dengan peruntukannya. Salah satu strategi yang tercantum dalam PERDA Kota Pasuruan No. 19 Tahun 2010 dalam rangka pengendalian pencemaran air adalah dengan menetapkan daya tampung beban pencemaran. Daya tampung beban pencemaran adalah kemampuan air pada suatu sumber air, untuk menerima masukan beban pencemaran tanpa mengakibatkan air tersebut menjadi cemar. Menurut Karnaningroem (2007) limpasan air limbah ke sungai juga harus disesuaikan dengan kondisi sungai (daya dukung dan daya tampung sungai) dimana air limbah dibuang. Sehingga, konsentrasi limpasan air limbah harus diperhitungkan dengan baik.

Penelitian yang akan dilakukan pada Sungai Gembong terkendala oleh data sekunder terkait debit dan kualitas air sungai. Pada data yang diperoleh analisa kualitas air Sungai Gembong hanya dilakukan pada satu titik saja yaitu bagian hulu sungai.

Sedangkan dalam pemodelan semakin banyak dan dekat jarak titik sampling maka dapat menggambarkan kondisi kualitas air yang sebenarnya. Selain itu, analisa kualitas air sungai hanya dilakukan dua kali dalam setahun sehingga dianggap kurang representatif. Hal tersebut dikarenakan pada saat melakukan optimasi limpasan air limbah yang boleh dibuang ke sungai Kali Surabaya diperlukan data debit dan DO (*dissolved oxygen*) pada kondisi maksimum, rata-rata, dan minimum. Sehingga penelitian berpindah lokasi dari Sungai Gembong ke Sungai Kali Surabaya karena memiliki data sekunder yang dapat mendukung penelitian.

Sungai Kali Surabaya merupakan salah satu sungai yang mengalir di Jawa Timur dari DAM mlirip di Mojokerto hingga pintu air jagir dengan panjang  $\pm 42,3$  km (Bapedal, 2008). Sungai Kali Surabaya digunakan sebagai bahan baku untuk memenuhi kebutuhan air minum, pertanian, peternakan, perikanan, industri, perniagaan hingga transportasi. Pemanfaatan tersebut mengakibatkan pertumbuhan ekonomi masyarakat yang ditandai dengan banyaknya industri dan permukiman di sekitar sungai Kali Surabaya. Pertumbuhan ekonomi masyarakat berbanding terbalik dengan kualitas air Sungai Kali Surabaya. Hasil penelitian yang dilakukan oleh Sumiyarsono (2018) status kualitas air Kali Surabaya berdasarkan indeks nilai STORET dalam status tercemar berat. Sumber pencemar utama Sungai Kali Surabaya berasal dari limbah domestik, limbah industri, dan limbah pertanian.

Analisis daya tampung beban pencemar merupakan proses yang rumit karena aliran sungai yang terus berlanjut dan kualitas air sungai yang bervariasi dari hulu sampai hilir. Semakin banyak dan dekat jarak titik sampling maka dapat menggambarkan kondisi kualitas air yang sebenarnya. Namun, hal ini akan mengakibatkan tingginya biaya pengamatan (Poedjiastoeti dan Indrawati, 2015). Selain itu, menurut Noerhayati (2015) Limpasan air suatu DAS dipengaruhi oleh beberapa faktor dengan masing-masing komponennya melalui proses hidrologi yang sangat kompleks. Oleh karena itu, model matematik dapat digunakan sebagai salah satu pilihan untuk menentukan daya tampung beban pencemaran sungai Kali Surabaya. Metode pemodelan dapat meminimalkan biaya pengamatan serta dapat menggambarkan hubungan beban air limbah dengan badan air.

Pemodelan kualitas air Sungai Kali Surabaya berdasarkan Keputusan Menteri Negara Lingkungan Hidup No. 110 Tahun 2003 dapat menggunakan QUAL2Kw yang merupakan model pengembangan dari QUAL2E. QUAL2Kw adalah program yang dapat memodelkan kualitas air sungai, mempresentasikan sungai dalam bentuk satu dimensi dengan aliran tetap atau aliran *non-uniform* serta mensimulasikan dampak dari pencemar yang berasal dari *point source* dan *non-point source* (Pelletier *et al.*, 2006). Kekurangan dari model QUAL2Kw adalah belum bisa digunakan untuk memprediksi kualitas air sungai seiring dengan perubahan waktu.

Pada penelitian ini, menggunakan program QUAL2Kw untuk memodelkan kualitas air sungai Kali Surabaya. Hasil dari pemodelan akan digunakan untuk menghitung daya tampung beban pencemar (DTBP) sungai Kali Surabaya. Dalam rangka mencegah terlampauinya DTBP sungai Kali Surabaya maka perlu dilakukan optimasi limpasan air limbah. Menurut Purnomo (2011), program dinamik sering digunakan untuk mempermudah penyelesaian persoalan optimasi yang berkarakteristik tertentu. Diharapkan dengan adanya penelitian ini, proses degradasi pencemar di sungai Kali Surabaya dapat berlangsung secara optimum dan kualitas air sungai dapat memenuhi baku mutu yang sudah ditetapkan.

## **1.2 Rumusan Masalah**

Rumusan masalah dari penelitian ini adalah :

1. Berapa besaran beban pencemar dan proporsi beban pencemar yang masuk ke sungai Kali Surabaya?
2. Berapa daya tampung beban pencemar pada setiap segmen di sungai Kali Surabaya ?
3. Bagaimana kualitas air limbah yang dapat dibuang ke sungai Kali Surabaya) ?

## **1.3 Tujuan**

Tujuan dari penelitian ini adalah:

1. Mengkaji besaran beban pencemar dan proporsi beban pencemar yang masuk ke sungai Kali Surabaya (segmen Tambangan Cangkir sampai Jembatan Sepanjang).



2. Mengkaji daya tampung beban pencemar pada setiap segmen di sungai Kali Surabaya (segmen Tambangan Cangkir - Jembatan Sepanjang).
3. Mengoptimasi limpasan air limbah yang dapat dibuang ke sungai Kali Surabaya menggunakan program dinamik (*multistage programming*).

#### 1.4 Ruang Lingkup

Ruang lingkup dari penelitian ini adalah:

1. Wilayah Studi meliputi Kali Surabaya yang mengalir dari Cangkir Tambangan hingga Jembatan Sepanjang. Terbagi menjadi 3 segmen yaitu :
  - Segmen Cangkir tambangan – Bambe Tambangan
  - Segmen Bambe Tambangan – Karangpilang
  - Segmen Karangpilang – Jembatan Sepanjang
2. Variabel yang digunakan dalam penelitian ini antara lain :
  - Sumber pencemar meliputi *point sources* dan *non-point sources*
  - Debit sungai meliputi debit maksimum, rata-rata, dan minimum
  - DO sungai meliputi DO maksimum, rata-rata, dan minimum
3. Data primer dan sekunder meliputi :
  - Data kualitas air Kali Surabaya (pH, temperatur, DO, BOD, COD)
  - Data hidrolis air Kali Surabaya (lebar panjang, kedalaman, kecepatan aliran dan debit air sungai).
  - Data klimatologi daerah sungai (suhu, kelembaban, curah hujan, lama penyinaran, kecepatan angin, dan arah angin)
4. Simulasi beban pencemaran untuk mengetahui kualitas air Kali Surabaya pada :
  - Kondisi dengan beban pencemar eksisting
  - Kondisi dengan beban pencemar hasil prediksi
  - Kondisi tanpa ada beban pencemar yang masuk
  - Kondisi dengan beban pencemar yang memenuhi baku mutu

5. Analisa parameter skala Laboratorium di Departemen Teknik Lingkungan FTSLK ITS.
6. Pemodelan kualitas air Kali Surabaya menggunakan program QUAL2Kw untuk perhitungan daya tampung beban pencemaran Kali Surabaya.
7. Optimasi yang dilakukan adalah optimasi konsentrasi zat pencemar organik (BOD) yang mampu ditampung oleh sungai berdasarkan kelasnya.

### **1.5 Manfaat**

Manfaat dari penelitian ini adalah:

1. Memberikan kontribusi ilmiah berupa informasi untuk pengelolaan kualitas air Kali Surabaya dalam rangka pengendalian pencemaran air.
2. Memberikan masukan bagi pemerintah Kota Surabaya maupun instansi terkait dalam memperbaiki kebijakan tentang pengendalian pencemaran air sungai.
3. Membantu Dinas Lingkungan Hidup (DLH) Kota Surabaya dalam menetapkan daya tampung beban pencemaran dan mengoptimasi limpasan air limbah ke Kali Surabaya.

**“Halaman ini sengaja dikosongkan”**

## **BAB 2**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1      Gambaran Umum Kali Surabaya**

Kali Surabaya merupakan anak Kali Brantas yang memiliki panjang sekitar 42 km mulai dari DAM Mlirip hingga DAM Jagir/Ngagel. Lebar Sungai bervariasi mulai 30 hingga 100 meter. Debit air Kali Surabaya bervariasi sepanjang tahun, berdasarkan data dari Perum Jasa Tirta berkisar 20 hingga 160 m<sup>3</sup>/detik. Kali Surabaya mempunyai beberapa anak sungai utama, yaitu Kali Kedungsumur, Kali Marmoyo, Kali Banjaran, Kali Tengah, dan Kali Kedurus (Masduki dan Apriliani, 2008).



**GAMBAR 2. 1 KONDISI KALI SURABAYA**

*Sumber : [www.mongabay.co.id](http://www.mongabay.co.id)*

Kali Surabaya berperan penting bagi kehidupan masyarakat, khususnya yang tinggal di Kota Surabaya. Hal ini dikarenakan air dari Kali Surabaya menjadi pemasok utama sumber air baku PDAM yang melayani lebih dari tiga juta penduduk Kota Surabaya. Selain itu, Kali Surabaya mempunyai peranan penting bagi masyarakat yang tinggal di bantaran sungai karena dimanfaatkan sebagai air baku untuk keperluan domestik (mandi,

cuci, kakus). Selain itu, industri juga memanfaatkan air Kali Surabaya sebagai komponen dalam proses produksi. Menurut Badan Lingkungan Hidup (BLH) Kota Surabaya (2009), Kali Surabaya memiliki fungsi antara lain :

- a) Sebagai sumber air baku bagi PDAM Surabaya, kegiatan industri, kawasan perumahan, dan pertanian
- b) Pengendali banjir Kota Surabaya dan sekitarnya, dengan pengaturan debit di pintu air Mlirip dan Gunungsari
- c) Sebagai sarana wisata, olahraga air dan transportasi air.
- d) Pemasok air sebagai aliran dasar (base flow) sebesar  $\pm 7,5 \text{ m}^3/\text{detik}$  yang berfungsi untuk pengenceran air limbah industri dan domestik serta mempertahankan ekosistem sungai, baik di Kali Surabaya sendiri maupun saluran drainase kota

Sumber pencemar air Kali Surabaya adalah air limbah industri, air limbah rumah tangga, dan air limbah lainnya. Pencemar tersebut masuk ke Kali Surabaya melalui beberapa cara pengalirannya. Aliran masuk ini dapat berupa point source atau aliran dengan saluran pada titik tertentu, seperti saluran drainase atau irigasi, anak sungai, dan outlet limbah industri. Sumber pencemar juga bisa berupa non-point source atau aliran masuk yang tidak berupa saluran tertentu dan merata di sepanjang sungai sehingga debitnya sulit diukur.

## **2.2 Sumber Pencemaran Air Sungai**

Menurut Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Nomor 1 Tahun 2010, pencemaran air adalah masuk atau dimasukkannya makhluk hidup, zat, energi, dan/atau komponen lain ke dalam air oleh kegiatan manusia sehingga melampaui baku mutu air limbah yang telah ditetapkan. Dengan adanya pencemaran air maka diperlukan kegiatan pengendalian. Pengendalian pencemaran air adalah upaya pencegahan dan penanggulangan pencemaran air serta pemulihan kualitas air untuk menjamin kualitas air agar sesuai dengan baku mutu air. Kegiatan pengendalian dilakukan melalui inventarisasi sumber pencemar air. Klasifikasi sumber pencemar air dibedakan menjadi 2 sumber, yaitu :

## 1. Sumber Tertentu (*Point Sources*)

Sumber-sumber pencemar air secara geografis dapat ditentukan lokasinya dengan tepat. Jumlah limbah yang dibuang dapat ditentukan dengan berbagai cara, antara lain dengan pengukuran langsung, perhitungan neraca massa, dan estimasi lainnya. Sumber pencemar air yang berasal dari sumber tertentu antara lain seperti kegiatan industri dan pembuangan limbah domestik terpadu. Data pencemaran air dari sumber tertentu biasanya diperoleh dari informasi yang dikumpulkan dan dihasilkan pada tingkat kegiatan melalui pengukuran langsung dari efluen dan perpindahannya atau melalui penggunaan metoda untuk memperkirakan atau menghitung besar pencemaran air. Data yang dibutuhkan untuk inventarisasi sumber tertentu antara lain:

- a) Klasifikasi jenis penghasil limbah, seperti kategori jenis usaha atau kegiatan
- b) Data pencemar spesifik yang dibuang, misalnya jumlah beban pencemar yang terukur atau perkiraan yang dibuang ke air dalam satuan massa per unit waktu
- c) Informasi lokasi dan jenis pencemar khusus yang dibuang, misalnya jenis industri tertentu di suatu daerah menghasilkan beberapa jenis pencemar spesifik

## 2. Sumber Tak Tentu (*Area/ Diffuse Sources*)

Sumber-sumber pencemar air yang tidak dapat ditentukan lokasinya secara tepat, umumnya terdiri dari sejumlah besar sumber-sumber individu yang relatif kecil. Limbah yang dihasilkan antara lain berasal dari kegiatan pertanian, permukiman, dan transportasi. Penentuan jumlah limbah yang dibuang tidak dapat ditentukan secara langsung, melainkan dengan menggunakan data statistik kegiatan yang menggambarkan aktivitas penghasil limbah. Sumber pencemar air tak tentu atau *diffuse sources* biasanya berasal dari kegiatan pertanian, peternakan, kegiatan industri kecil-menengah, dan kegiatan domestik atau penggunaan barang-barang konsumsi. Sumber-sumber pencemar air ini umumnya terdiri dari gabungan beberapa kegiatan kecil atau individual yang berpotensi menghasilkan air limbah yang dalam

kegiatan inventarisasi sumber pencemar air tidak dapat dikelompokkan sebagai sumber tertentu.

**TABEL 2. 1 KLASIFIKASI SUMBER PENCEMAR AIR**

<b>Karakteristik Limbah</b>	<b>Sumber Tertentu (Point Sources)</b>	<b>Sumber Tak Tertentu (Diffuse Sources)</b>
<b>Limbah Domestik</b>	Aliran limbah urban dalam sistem saluran dan sistem pembuangan limbah domestik terpadu.	Aliran limbah daerah pemukiman di Indonesia pada umumnya.
<b>Limbah Non-domestik</b>	Aliran limbah industri pertambangan.	Aliran limbah pertanian, peternakan, dan kegiatan usaha kecil-menengah.

### **2.3 Klasifikasi dan Kriteria Mutu Air Sungai**

Berdasarkan Peraturan Gubernur Jawa Timur No. 61 Tahun 2010 tentang penetapan kelas air pada air sungai, Klasifikasi mutu air sungai ditetapkan menjadi 4 (empat) kelas, yaitu (kriteria mutu air dari setiap kelas air tercantum dalam lampiran) :

- a) **Kelas satu**, air yang peruntukannya dapat digunakan untuk air baku air minum, dan atau peruntukan lain yang mempersyaratkan mutu air yang sama dengan kegunaan tersebut;
- b) **Kelas dua**, air yang peruntukannya dapat digunakan untuk prasarana/sarana rekreasi air, pembudidayaan ikan air tawar, peternakan, air untuk mengairi pertanaman, dan atau peruntukan lain yang mempersyaratkan mutu air yang sama dengan kegunaan tersebut;

- c) **Kelas tiga**, air yang peruntukannya dapat digunakan untuk pembudidayaan ikan air tawar, peternakan, air untuk mengairi pertanian, dan atau peruntukan lain yang mempersyaratkan mutu air yang sama dengan kegunaan tersebut;
- d) **Kelas empat**, air yang peruntukannya dapat digunakan untuk mengairi pertanian dan atau peruntukan lain yang mempersyaratkan mutu air yang sama dengan kegunaan tersebut.

## 2.4 Parameter Kualitas Air

Dalam mengidentifikasi kualitas air sungai, parameter fisik dan kimia sangat penting untuk diketahui. Parameter fisik yaitu Suhu sedangkan parameter kimia yaitu pH, BOD, COD dan DO. Parameter kualitas air tersebut akan dianalisis menggunakan alat yang sesuai dengan pengujian pada masing-masing parameter.

### 2.4.1 Suhu

Suhu merupakan ukuran panas dinginnya benda yang diukur dengan *thermometer* (Kristanto, 2002). Suhu suatu badan air dipengaruhi oleh musim, lintang (latitude), ketinggian dari permukaan laut (altitude), waktu dalam hari, sirkulasi udara, penutupan awan, dan aliran serta kedalaman badan air. Perubahan suhu berpengaruh terhadap proses fisika, kimia, dan biologi badan air. Peningkatan suhu akan mengakibatkan peningkatan viskositas, reaksi kimia, evaporasi, dan volatilisasi. Peningkatan suhu juga akan mengakibatkan peningkatan kecepatan metabolisme dan respirasi organisme air, yang berdampak pada peningkatan konsumsi oksigen. Peningkatan suhu juga dapat menyebabkan terjadinya peningkatan dekomposisi bahan organik oleh mikroba (Effendi, 2003).

### 2.4.2 pH atau Derajat Keasaman

Derajat keasaman (pH) adalah ukuran dari konsentrasi ion hidrogen untuk menentukan sifat asam dan basa. Ion hidrogen selalu ada dalam kesetimbangan dinamis dengan air ( $H_2O$ ) yang membentuk suasana untuk semua reaksi kimiawi yang berkaitan dengan masalah pencemaran air (Effendi, 2003). Nilai pH yang



ideal bagi kehidupan organisme air pada umumnya terdapat antara 7– 8,5. Kondisi perairan yang bersifat sangat asam maupun sangat basa akan membahayakan kelangsungan hidup organisme karena akan menyebabkan terjadinya gangguan metabolisme dan respirasi (Barus, 2004). Menurut PP No. 82 Tahun 2001 kisaran pH untuk kriteria air kelas 1, 2 dan 3 adalah 6-9.

#### **2.4.3 Dissolved Oxygen (DO)**

*Dissolved Oxygen* (DO) adalah oksigen yang terlarut dalam air yang dapat berasal dari difusi oksigen yang terdapat di atmosfer, aliran air melalui air hujan serta aktivitas fotosintesis oleh tumbuhan air (Sulistyo, 2008). Menurut Salmin (2005), oksigen terlarut sangat dibutuhkan oleh semua makhluk hidup yang tinggal di dalam air untuk pernafasan, proses pertukaran zat, dan proses metabolisme. Selain itu, oksigen berpengaruh sangat penting dalam indikator kualitas perairan karena berperan dalam proses oksidasi dan reduksi bahan organik atau anorganik.

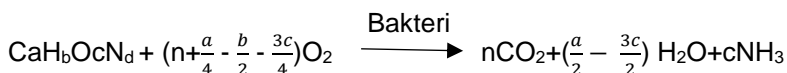
Kadar oksigen terlarut berfluktuasi secara harian (*diurnal*) dan musiman, tergantung pada pencampuran (*mixing*) dan pergerakan (*turbulence*) massa air, aktivitas fotosintesis, respirasi, dan limbah (*effluent*) yang masuk ke badan air. Peningkatan suhu sebesar 1°C akan meningkatkan konsumsi oksigen sekitar 10%. Dekomposisi bahan organik dan oksidasi bahan anorganik dapat mengurangi kadar oksigen terlarut hingga mencapai nol (*anaerob*) (Effendi, 2003).

#### **2.4.4 Biochemical Oxygen Demand (BOD)**

BOD (*Biochemichal Oxygen Demand*) merupakan satuan yang digunakan dalam mengukur kebutuhan oksigen yang diperlukan untuk menguraikan bahan organik di dalam air limbah (Sugiharto, 1987 dalam Fatmawati, 2012). Jadi, nilai BOD tidak menunjukkan jumlah bahan organik yang sebenarnya, namun hanya mengukur secara relatif jumlah oksigen yang dibutuhkan untuk mengoksidasi bahan-bahan buangan tersebut. Jika konsumsi oksigen tinggi, maka akan ditunjukkan dengan semakin kecilnya sisa oksigen terlarut di dalam air, maka berarti kandungan bahan buangan yang membutuhkan oksigen adalah tinggi.

Bahan organik dapat berupa protein, glukosa, lemak, kanji, ester dan lain sebagainya. Bahan-bahan organik merupakan hasil pembuangan dari industri dan buangan limbah domestik atau berasal dari pembusukan hewan atau tumbuhan yang sudah tidak hidup (Effendi, 2003). Dalam mengidentifikasi kualitas air dengan pemodelan, BOD selalu menjadi bagian yang cukup penting dalam sampel (Mohapatra, 2010).

Menurut Ayuningtyas (2009), uji BOD didasarkan atas reaksi oksidasi yang terjadi pada zat organik dengan adanya bantuan bakteri di dalam air. Persamaan reaksi dapat dituliskan sebagai berikut

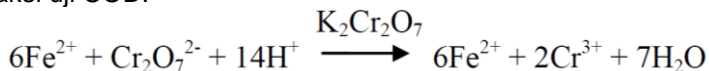


Berdasarkan reaksi diatas dapat dilihat bahwa pada limbah yang mengandung zat organik dapat dilihat dari jumlah  $\text{O}_2$  yang diperlukan, tujuannya untuk menguraikan komponen organik menjadi komponen yang stabil (Fadly, 2008). Selama identifikasi BOD sampel yang dianalisis harus bebas dari udara luar agar menghindari kontaminasi dari oksigen yang ada di luar yaitu pada udara bebas (Salmin, 2005).

#### 2.4.5 Chemical Oxygen Demand (COD)

COD merupakan jumlah oksigen yang dibutuhkan dalam mengoksidasi zat organik secara kimia yang dinyatakan dalam satuan  $\text{mg O}_2/\text{L}$  (Rahmawati dan Azizah, 2005). Dengan mengukur nilai COD maka akan diperoleh nilai yang menyatakan jumlah oksigen yang dibutuhkan untuk proses oksidasi terhadap total senyawa organik yang sulit untuk diuraikan secara biologis (Sulistyo, 2008).

Senyawa organik akan dioksidasi oleh oksidator kuat kalium bikromat ( $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ ) dalam suasana asam menjadi gas  $\text{CO}_2$  dan gas  $\text{H}_2\text{O}$  serta sejumlah ion chrom. Berikut merupakan reaksi uji COD.



Pada prosedur penentuan COD, oksigen yang dikonsumsi setara dengan jumlah dikromat yang diperlukan untuk mengoksidasi air sampel (Boyd, 1988 dalam Effendi, 2003).

Tingkat degradasi untuk suatu limbah menggunakan rasio BOD/COD. Rasio BOD/COD merupakan sebuah indikator dari zat organik yang berada pada air, limbah, lindi, kompos dan lain-lain baik dari alam maupun buatan. Apabila suatu limbah tingkat degradasinya semakin tinggi, maka rasio BOD/COD juga akan berbanding lurus menjadi semakin besar. Rasio BOD/COD yang digunakan untuk proses biologis adalah di dalam range biodegradable yaitu 0,2 - 0,5 (Mangkoediharjo, 2010). Hal serupa dinyatakan oleh Fresenius *et al* (1989) rasio BOD/COD antara 0,2-0,5 dapat diolah dengan proses biologis, tetapi proses dekomposisinya lebih lambat karena mikroorganisme pengurai membutuhkan aklimatisasi dengan limbah tersebut. Adapun index rasio BOD/COD terhadap tingkat biodegradable dapat dilihat pada Tabel 2.2 berikut ini.

**TABEL 2. 2 BIODEGRADABILITY INDEX**

<b>Nilai BOD/COD</b>	<b>Biodegradability</b>
<b>&gt; 0,6</b>	Biodegradable
<b>0,3 - 0,6</b>	Diperlukan treatment
<b>&lt; 0,3</b>	Non-biodegradable

*Sumber : Srinivas, 2008*

## **2.5 Self Purification**

*Self Purification* atau pemurnian diri adalah upaya pemurnian air dari zat pencemar yang terkandung di dalamnya oleh proses alamiah tanpa adanya pengaruh aktivitas manusia (Novirina dan Cahyarani, 2013). Kemampuan lingkungan untuk memulihkan atau mengembalikan ke keadaan semula dari beban pencemaran yang telah masuk harus didukung oleh daya tampung dari lingkungan tersebut. Lingkungan membutuhkan waktu untuk memulihkan diri dari beban pencemar. Pemulihan akan berlangsung apabila beban pencemaran yang masuk masih di bawah daya tampung lingkungan, dengan daya tampung tersebut akan ada waktu untuk terjadinya proses secara fisik, kimia, maupun biologi pada lingkungan tersebut sehingga proses

pemulihan lingkungan dapat terjadi. Namun, apabila beban yang masuk melebihi daya tampung dari lingkungan tersebut maka proses pemulihan lingkungan akan berlangsung lama bahkan tidak dapat terjadi.

Menurut Hendrasarie dan Cahyarani (2008) pengembangan pemurnian alami atau *self purification* terdiri dari beberapa zona, yaitu :

- a) **Zona air bersih**, zona ini terdapat jauh di hulu sungai, jauh dari sumber pencemaran. Indikatornya adalah masih dapat dimanfaatkannya air sebagai bahan air minum
- b) **Zona dekomposisi**, zona ini terdapat pada daerah sumber pencemaran, limbah yang mengalir akan didekomposisi/dioksidasi proses pembongkaran bahan organik oleh bakteri dan mikroorganisme. Indikator daerah ini kaya akan bakteri dan mikroorganisme
- c) **Zona biodegradasi**, pada daerah ini terjadi penurunan oksigen terlarut (*dissolved oxygen*), sehingga nilai COD di perairan sangat tinggi.
- d) **Zona pemulihan**, pada zona ini kualitas air kembali bersih, nilai oksigen terlarut kembali normal.

## 2.6 Daya Tampung Beban Pencemaran

Dalam Undang-undang Nomor 32 Tahun 2009 menyebutkan bahwa lingkungan memiliki daya dukung lingkungan hidup dan daya tampung lingkungan hidup. Daya dukung lingkungan hidup adalah kemampuan lingkungan hidup untuk mendukung perikehidupan manusia, makhluk hidup lain, dan keseimbangan antar keduanya. Daya tampung lingkungan hidup adalah kemampuan lingkungan hidup untuk menyerap zat, energi, dan/atau komponen lain yang masuk atau dimasukkan ke dalamnya.

Dalam PP RI Nomor 82 Tahun 2001 tentang pengelolaan kualitas air dan pengendalian pencemaran air, Daya tampung beban pencemaran air adalah kemampuan air pada suatu sumber air untuk menerima masukan beban pencemaran tanpa mengakibatkan air tersebut menjadi cemar. Menurut PERDA Kota Surabaya No. 02 Tahun 2004 dalam rangka pengendalian pencemaran air pada sumber air dapat diilkaukan dengan

menetapkan daya tampung beban pencemaran yang dilakukan secara berkala sekurang kurangnya 5 (lima) tahun sekali. Penetapan daya tampung beban pencemaran digunakan untuk :

- a) pemberian izin lokasi
- b) pengelolaan air dan sumber air
- c) penetapan rencana tata ruang
- d) pemberian izin pembuangan air limbah
- e) penetapan mutu air sasaran dan program kerja pengendalian pencemaran air

Dalam Keputusan Menteri Lingkungan Hidup No. 110 Tahun 2003 tentang untuk menetapkan Daya Tampung Beban Pencemaran Air Pada Sumber Air, terdapat 3 metode yaitu :

#### 1) Metode Neraca Massa

Penentuan daya tampung beban pencemaran dapat ditentukan dengan cara sederhana yaitu dengan menggunakan metoda neraca massa. Model matematika yang menggunakan perhitungan neraca massa dapat digunakan untuk menentukan konsentrasi rata-rata aliran hilir (*down stream*) yang berasal dari sumber pencemar *point sources* dan *non point sources*, perhitungan ini dapat pula dipakai untuk menentukan persentase perubahan laju alir atau beban polutan.

Jika beberapa aliran bertemu menghasilkan aliran akhir, atau jika kuantitas air dan massa konstituen dihitung secara terpisah, maka perlu dilakukan analisis neraca massa untuk menentukan kualitas aliran akhir dengan perhitungan.

$$C_R = \frac{\sum C_i Q_i}{\sum Q_i} = \frac{\sum M_i}{\sum Q_i} \dots\dots\dots 2-1$$

Dimana,

CR = Konsentrasi rata-rata konstituen untuk aliran gabungan

Ci = Konsentrasi konstituen pada aliran ke-i

Qi = Laju alir aliran ke-i

Mi = Massa konstituen pada aliran ke-i

## 2) Metode Streeter – Phelps

Pemodelan Streeter dan Phelps hanya terbatas pada dua fenomena yaitu proses pengurangan oksigen terlarut (deoksigenasi) akibat aktivitas bakteri dalam mendegradasikan bahan organik yang ada dalam air dan proses peningkatan oksigen terlarut (reaerasi) yang disebabkan turbulensi yang terjadi pada aliran sungai. Perhitungan Model Streeter – Phelps (1925) dalam Chapra (1997) dan Lamb (1985) :

$$D = \frac{K_1 L_0}{K_2 - K_1} (e^{-K_1 t} - e^{-K_2 t}) + D_0 e^{-K_2 t} \quad \dots\dots\dots 2-2$$

Dimana,  $D$  = oksigen defisit pada setiap titik (mg/L)

$D_0$  = oksigen deficit pada titik awal ( $t=0$ )

$L_0$  = [BOD] *ultimate* pada titik *discharge* (mg/L)

$K_1$  = koefisien deoksigenasi ( $\text{hari}^{-1}$ )

$K_2$  = koefisien reaerasi ( $\text{hari}^{-1}$ )

$t$  = waktu tempuh antara dua titik (hari)

Perhitungan Model O'Connor and Dobbins :

$$Dx = Ds - \frac{K_1 \left( e^{\frac{k_1 x}{U - Ex}} - e^{\frac{K_2 x}{U - Ex}} \right) L_0}{K_2 - K_1} - (Ds - D_0) e^{\frac{K_2 x}{U - Ex}} \quad \dots\dots\dots 2-3$$

Dimana,

$Dx$  = Konsentrasi DO pada titik  $x$  (mg/L)

$Ds$  = DO jenuh (mg/L)

$Ex$  = koefisien difusi Eddy / koefisien longitudinal ( $\text{m}^2/\text{hari}$ )

$U$  = kecepatan aliran (m/hari)

$$k_1(T^\circ\text{C}) = k_1(20^\circ\text{C}) \times 1.047^{(T-20)} \quad \dots\dots\dots 2-4$$

Dimana,

$K_1 (T^\circ\text{C})$  = koefisien deoksigenasi pada temperatur  $T$

$K_1 (20^\circ\text{C})$  = koefisien deoksigenasi pada  $T = 20^\circ\text{C}$

$$k_2(T^{\circ}\text{C}) = k_2(20^{\circ}\text{C}) \times 1.0238^{(T-20)} \quad \dots\dots\dots 2-5$$

Dimana,

$K_2$  ( $T^{\circ}\text{C}$ ) = koefisien reaerasi pada temperatur T

$K_2$  ( $20^{\circ}\text{C}$ ) = koefisien reaerasi pada  $T = 20^{\circ}\text{C}$

Harga  $K_2$  untuk berbagai macam badan hasil estimasi (Tabel 2.3) oleh *Engineering Board Review for the Sanitary District of Chicago* (Chapra, 1997) :

Tabel 2. 3 Konstanta Reaerasi

<b>Water Body</b>	<b><math>K_2</math> at <math>20^{\circ}\text{C}</math></b>
Small ponds and backwaters	0.10-0.23
Sluggish streams and large lakes	0.23-0.35
Laarge streams of Low Velocity	0.35-0.46
Large streams of Normal Velocity	0.46-0.69
Swift Streams	0.69-1.15
Rapid and Waterfalls	> 1.15

Setiap bagian perairan mempunyai kapasitas tertentu untuk dapat mengandung oksigen. Diasumsikan bahwa tingkat kejenuhan oksigen merupakan fungsi dari temperatur. Sedangkan kelarutan oksigen jenuh dinyatakan dengan persamaan (Lee dan Lin, 1999):

$$\text{DO}_{\text{sat}} = 14,652 - 0,41022 T + 0,0079910 T^2 - 0,000077774 T^3 \quad \dots\dots\dots 2-6$$

Dimana,  $\text{DO}_{\text{sat}}$  = kelarutan oksigen jenuh (mg/l)

T = temperatur ( $^{\circ}\text{C}$ )

Suatu metode pengelolaan air dapat dilakukan atas dasar defisit oksigen kritis  $D_c$ , yaitu kondisi defisit DO terendah yang dicapai akibat beban yang diberikan pada aliran tersebut.

$$D_c = \frac{k_1}{k_2} (L_o \times e^{-k_1 \cdot t_c}) \quad \dots\dots\dots 2-7$$

$$t_c = \frac{1}{k_2 - k_1} \ln \left[ \frac{k_2}{k_1} \left( 1 - D_a \frac{k_2 - k_1}{k_1 \cdot L_o} \right) \right] \quad \dots\dots\dots 2-8$$

Dimana,

$D_c$  = DO defisit oksigen kritis (mg/l)

$t_c$  = waktu yang diperlukan untuk mencapai kondisi kritis (hari)

Apabila DO defisit oksigen kritis melebihi DO awal, maka diperlukan langkah untuk menentukan beban BOD maksimum yang diizinkan agar defisit oksigen kritis tidak melampaui defisit DO yang diizinkan.

$$\log L_o = \log D_{all} + \left[ 1 + \frac{k_1}{k_2 - k_1} \left( 1 - \frac{D_a}{D_{all}} \right)^{0.418} \right] \log \frac{k_2}{k_1} \dots\dots\dots 2-9$$

Dimana,  $D_{all}$  = Defisit DO yang diijinkan (mg/l)

$D_{all}$  =  $D_{osat}$  – DO baku mutu

Apabila konsentrasi awal senyawa organik sebagai BOD adalah  $L_o$ , sehingga  $L_t$  adalah BOD pada saat  $t$ , yang dirumuskan sebagai berikut :

$$L_t = L_o (1 - e)^{(k_1.t)} \dots\dots\dots 2-10$$

### 3) Metode QUAL2E

QUAL2E dikembangkan oleh *US Environmental Protection Agency* dimana pada perkembangan terbarunya menjadi QUAL2Kw. Tujuan penggunaan suatu pemodelan adalah menyederhanakan suatu kejadian agar dapat diketahui kelakuan kejadian tersebut. Pada QUAL2E ini dapat diketahui kondisi sepanjang sungai (DO dan BOD), dengan begitu dapat dilakukan tindakan selanjutnya seperti industri yang ada disepanjang sungai hanya diperbolehkan membuang limbahnya pada beban tertentu.

Beban pencemaran dihitung dengan mengalikan besar konsentrasi unsur pencemar yang masuk ke sungai dengan besarnya debit aliran sungai.

**Beban pencemaran = C X Q**

Dimana :

BP = Beban Pencemaran Sungai (kg/hari)

C = Kadar terukur sebenarnya unsur pencemar (mg/L)

Q = Debit air (L/det)



## **2.7 Pemodelan dengan QUAL2Kw**

Metode Neraca Massa dan Metode Streeter-Phelps hanya dapat menggambarkan nilai daya tampung per titik pengukuran saja. Sebaiknya Pengelolaan dan kontrol kualitas air dilakukan secara menyeluruh. Oleh karena itu, Metode Numerik Terkomputerisasi lebih dipilih dibandingkan kedua metode tersebut karena dapat menentukan nilai daya tampung sepanjang sungai. Metode numerik terkomputerisasi merupakan metode simulasi menggunakan program komputer yang pada dasarnya hasil pemodelan merupakan penerapan dan modifikasi dari teori metode sebelumnya yaitu Metode Neraca Massa dan Metode Streeter-Phelps (Fatmawati, dkk., 2012).

Menurut Chapra (1997) Model adalah objek kecil yang biasanya dibangun dengan skala, yang mewakili objek lain yang seringkali lebih besar. Dengan demikian, model biasanya mewakili versi kondisi nyata yang disederhanakan dan dapat diuji. Model matematis sebagai formulasi ideal, mewakili respon sistem fisik terhadap pengaruh eksternal. Model matematis diperlukan untuk menghitung kualitas (respon) pada badan air penerima (sistem) sebagai fungsi pengolahan efluen limbah (pengaruh eksternal). Model digunakan untuk mensimulasikan respon sistem (konsentrasi) sebagai fungsi stimulus (beban) dan karakteristik sistem (faktor asimilasi).

Qual2Kw adalah kerangka pemodelan kualitas air sungai modern. Pengguna dari pemodelan ini bebas memilih parameter kualitas air sesuai dengan kebutuhan analisis dalam penelitian (Pelletier, dkk., 2006). Metode Qual2Kw ini merupakan pembaharuan dari metode sebelumnya yaitu Qual2E dan Qual2K. Metode Qual2E adalah metode pemodelan yang dikembangkan oleh Brown dan Barnwell (1987) yang dapat menyederhanakan kondisi kualitas air pada sepanjang sungai yang diteliti dan khusus pada parameter kualitas air DO dan BOD (Fatmawati, dkk., 2012).

Pemodelan metode Qual2Kw digunakan sebagai alat manajemen dan pengelolaan kualitas air sungai karena model kualitas air sungai yang dihasilkan akan menggambarkan respon badan air terhadap polusi sehingga dapat dijadikan acuan untuk kebijakan dan peraturan serta perizinan beban polutan yang dapat dibuang ke dalam badan sungai (Oliveira, dkk., 2012). Selain itu,

QUAL2Kw dapat mensimulasikan perpindahan polutan konvensional (*non-toxic*) dan apa yang terjadi selama perpindahan tersebut. Model QUAL2Kw merepresentasikan suatu sungai sebagai saluran satu dimensi (*one-dimensional channel*) dengan bentuk *non-uniform*, aliran tunak (*steady flow*), dan mensimulasi pengaruh penambahan polutan baik *point sources* maupun *point sources* (Chapra dan Pelletier, 2008).

Pemodelan QUAL2Kw menggunakan persamaan umum neraca massa untuk memperkirakan konsentrasi pada titik ( $c_i$ ) di setiap segmen ( $i$ ). Gambar 2.2 mengilustrasikan faktor-faktor yang mempengaruhi konsentrasi pada titik ( $c_i$ ) di setiap segmen ( $i$ ), sebagai berikut (Chapra dan Pelletier, 2008) :

$$\frac{Q_i}{Q_{i-1}} = \frac{K_i}{Q_{i-1}} c_{i-1} - \frac{K_i}{Q_i} c_i - \frac{K_i}{Q_{i-1}} c_i + \frac{K_i}{E_i} (c_{i-1} - c_i) + \frac{K_i}{E_i} (c_{i+1} - c_i) + \frac{K_i}{K_i} + 2$$

Dimana :

$Q_i$  = Debit air pada segmen ( $i$ ) (L/hari)

$V_i$  = Volume (L)

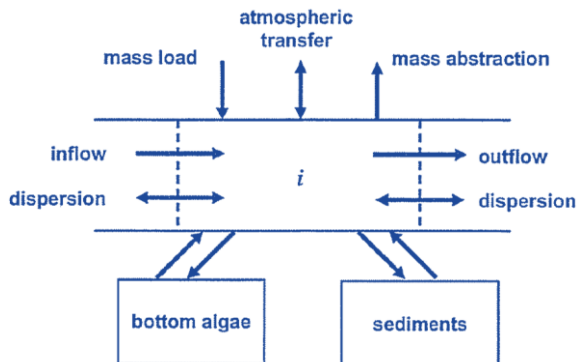
$W_i$  = pembebanan eksternal dari suatu titik terhadap segmen ( $i$ ) (mg/hari)

$S_i$  = penambahan dan pengurangan konsentrasi pada titik ( $c_i$ ) karena reaksi reaksi dan mekanismetransfer massa (mg/L.hari)

$E_i$  = Koefisien bulk dispersiom antar segmen (L/hari)

$C_i$  = Konsentrasi kualitas air pada titik ( $c_i$ ) (mg/L)

$t$  = Waktu dalam hari



**GAMBAR 2. 2 MASS BALANCE DI SETIAP SEGMENT (i)**

Parameter klimatologis dipertimbangkan dalam Qual2Kw karena akan mempengaruhi kondisi kualitas air yang akan dimodelkan. Contoh parameter klimatologis yang digunakan adalah tutupan awan dan bayangan. Tutupan awan dan bayangan yang menutupi permukaan air akan menghalangi cahaya matahari ke badan air, hal tersebut menyebabkan proses fotosintesis dalam air oleh alga tidak berjalan maksimal sehingga kadar O<sub>2</sub> yang merupakan hasil fotosintesis menurun.

Suhu juga dipertimbangkan karena terdapat enzim-enzim pada proses fotosintesis yang pada suhu tertentu akan bekerja secara maksimal. Titik embun dipertimbangkan karena berhubungan dengan proses kondensasi yang apabila telah tercapai titik embun jenuh sehingga hujan turun dan menyebabkan kenaikan kualitas air sungai. Kecepatan angin juga dipertimbangkan karena akan mempengaruhi perpindahan O<sub>2</sub> dari udara ke badan air. Menurut Hendriarianti (2015) bagian-bagian QUAL2Kw terdiri dari tombol pada QUAL2Kw, *worksheet* QUAL2Kw, dan grafik QUAL2Kw.

#### 1) Tombol pada *worksheet*

Tombol pada *worksheet* QUAL2Kw ada 3 tombol, antara lain:

- **Open File.** Saat diklik, file browser secara otomatis terbuka untuk mengakses file data QUAL2KW
- **Run VBA.** Untuk model versi VBA dan membuat file data yang mempunyai nilai input. File data data diakses kemudian menggunakan tombol Open File
- **Run Fortran.** Untuk model versi Fortran dan membuat file data yang mempunyai nilai input. File data data diakses kemudian menggunakan tombol Open File. Versi Fortran and VBA memberikan hasil yang sama tetapi *running* Fortran lebih cepat karena merupakan program terkompilasi.

#### 2) *Worksheet* pada QUAL2Kw

*Worksheet* pada QUAL2Kw terdiri dari beberapa *worksheet*, antara lain :

- **Worksheet QUAL2K.** *Worksheet* QUAL2KW digunakan untuk memasukkan informasi umum tentang aplikasi model yang terdiri dari: nama sungai, tanggal simulasi, nama file, waktu matahari terbit, waktu matahari terbenam (Gambar 2.3).

- **Worksheet Headwater.** Untuk memasukkan aliran dan konsentrasi sistem. Data yang harus diinput dalam *worksheet* ini meliputi: data aliran *headwater* dimasukkan pada kolom Flow, data temperatur dan kualitas air di hilir (jika ada) serta data temperatur dan kualitas air *headwater*.
- **Worksheet Reach.** Untuk memasukkan informasi yang berhubungan dengan headwater dan kondisi pada tiap *reach* (*reach length*, *downstream latitude* dan *longitude*, *elevation*, *weir*, *velocity*, *depth*, *manning formula*, *sediment thermal conductivity*, *sediment thickness*, etc).

1 <b>QUAL2KW (version 6.0)</b>	
2 <b>Stream Water Quality Model</b>	
3 <b>Greg Pelletier, Steve Chapra, and Hua Tao</b>	
4 <b>Department of Ecology and Tufts University</b>	
5	
6	
7 <b>System ID:</b>	
8 River name	Boulder Creek (Colorado, USA)
9 Saved file name	BC_1987-08-21
10 Directory where the input/output files are saved	
11 Month	8
12 Day	21
13 Year	1987
14 Local standard time zone relative to UTC	-7 hours
15 Daylight savings time	Yes
16 <b>Simulation and output options:</b>	
17 Calculation step	11.25 minutes
18 Number of days for the simulation period	5 days
19 Simulation mode	Repeating diel
20 Selected date for output of longitudinal and 24-hr diel plots	8/21/1987
21 Solution method (integration)	Euler
22 Solution method (pH)	Brent
23 Simulate hyporheic transient storage zone (HTS)	Level 1
24 Simulate surface transient storage zone (STS)	Yes
25 Option for conduction to deep sediments in heat budget	Lumped
26 Display dynamic diel output for selected date	Yes
<div> <span>&lt;</span> <span>&gt;</span> <span>QUAL2K</span> <span>Headwater</span> <span>Reach</span> <span>Reach Rates</span> <span>Initial Conditions</span> <span>Air Temperature</span> <span>Dew Point Temp</span> </div>	

**GAMBAR 2. 3 WORKSHEET QUAL2KW VERSI 5.0**

- **Worksheet Reach Rates.** *Worksheet* pilihan untuk memasukkan informasi terkait konstanta dan parameter *rate* tertentu pada *reach*. Parameter *rate* pada *sheet* ini merupakan pilihan apabila nilainya spesifik diluar nilai global parameter *rate* yang ditentukan pada “*Rates*” *sheet*. Parameter “*Rates*” tergantung pada temperatur yang diinputkan misal sebesar 20°C pada “*Reach Rates*” *sheet* dan disesuaikan untuk temperatur di lapangan oleh QUAL2Kw. Apabila *reach-specific rates* tidak ditentukan,

maka *global rate parameters* pada “*Rates*” *sheet* akan diaplikasikan. Pengguna sebaiknya mengkosongkan sel pada “*Reach Rates*” *sheet* untuk menggunakan nilai global dari “*Rates*” *sheet* di luar nilai yang ditentukan pada *reach-specific values*.

- **Worksheet Initial Conditions.** Penentuan kondisi awal pada *sheet* ini merupakan pilihan. Apabila tidak ditentukan, maka kondisi awal pada kolom air untuk setiap *reach* diasumsikan sama dengan *headwater*.
- **Worksheet Meteorologi dan Shading.** *Worksheet* yang digunakan untuk memasukkan data meteorologi dan *shading*.
  - *Worksheet Air Temperatur.* *Worksheet* ini digunakan untuk memasukkan data temperatur udara setiap jam dalam derajat Celcius untuk setiap *reach*.
  - *Worksheet Dew-Point Temperature.* *Worksheet* ini digunakan untuk memasukkan data temperatur titik embun (derajat Celcius) untuk setiap *reach*.
  - *Worksheet Wind speed.* *Worksheet* ini digunakan untuk memasukkan data kecepatan angin (m/detik) untuk setiap *reach*.
  - *Worksheet Cloud cover.* *Worksheet* ini digunakan untuk memasukkan data tutupan awan (% *sky covered*) untuk setiap *reach*.
  - *Worksheet Shade.* *Worksheet* ini digunakan untuk memasukkan data *shading* setiap jam untuk setiap *reach*. *Shading* didefinisikan sebagai fraksi radiasi solar yang tertutup karena terhalang topografi dan vegetasi.
  - *Worksheet Solar radiation.* *Worksheet* ini untuk memasukkan radiasi solar setiap jam untuk tiap *reach*.
- **Worksheet Rates.** *Worksheet* ini digunakan untuk memasukkan parameter *rates* model dan pilihan kalibrasi otomatis.
- **Worksheet Light dan Heat.** *Worksheet* ini digunakan untuk memasukkan informasi yang terkait dengan pencahayaan dan parameter panas sistem.

- **Worksheet Point Sources.** *Worksheet* ini digunakan untuk memasukkan informasi yang terkait dengan *point sources* sistem. *Worksheet point sources* terdiri dari data temperature, data konsentrasi BOD, COD, TSS maupun parameter lain hasil pengukuran pada sampel *point sources*.
- **Worksheet Data Temperatur.** *Worksheet* untuk memasukkan data temperatur.
- **Worksheet Diffuses Sources.** *Worksheet* ini digunakan untuk memasukkan informasi yang terkait dengan *diffuses(non-point) sources* sistem, yang terdiri dari: *temperature, diffuse inflow, diffuse abstraction, etc*
- **Worksheet Data Hidrolik.** *Worksheet* ini digunakan untuk memasukkan data yang terkait dengan hidrolika sistem.
- **Worksheet Data WQ.** *Worksheet* untuk memasukkan data rata-rata harian kualitas air.
- **Worksheet Data WQ min** merupakan *worksheet* untuk memasukkan data minimum harian kualitas air sedangkan **Worksheet Data WQ max** merupakan *worksheet* untuk memasukkan data maksimum harian kualitas air.
- **Worksheet Data Diel**  
*Worksheet* untuk memasukkan data diel dari *reach* terpilih. Data ini selanjutnya diplot berupa titik pada grafik dari output model diel.
- **Worksheet Summary.** Merupakan serangkaian *worksheet* yang menampilkan tabel numerik output yang dibuat oleh QUAL2KW, yang terdiri dari: *source summary, hydraulics summary, temperature output, etc.*

### 3) Grafik pada QUAL2Kw

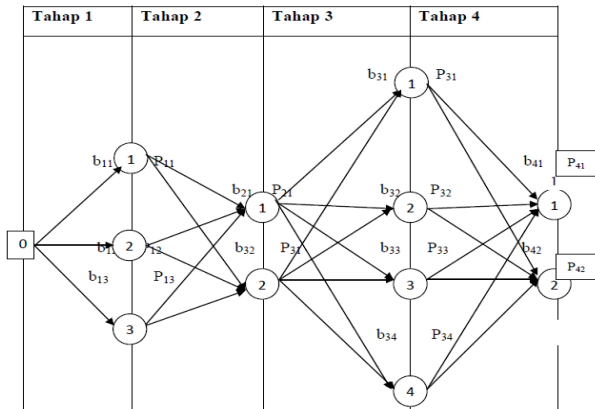
Grafik pada QUAL2Kw terdiri dari 2 jenis, yaitu:

- **Spatial Chart.** Bentuk grafik QUAL2KW yang menampilkan serangkaian grafik *plotting output* dan data model dengan jarak (km) sungai
- **Diel Chart.** Bentuk grafik QUAL2KW yang menampilkan serangkaian grafik *plotting output* dan data model dengan waktu (jam) untuk temperatur dan *state variables* model

## 2.8 Program Dinamik

Program Dinamik adalah suatu teknik matematika yang digunakan untuk mengoptimalkan proses pengambilan keputusan secara bertahap. Inti dari program ini adalah membagi satu persoalan dalam beberapa tahap sehingga disebut sebagai *Multistage programming*. Kemudian pemecahan tiap tahap dilakukan dengan mengoptimalkan keputusan atas tiap tahap hingga seluruh persoalan telah terpecahkan. Berbeda dengan *Linier Programming*, dalam program dinamik tidak ada rumusan (formulasi) matematis standard. Program dinamik lebih merupakan suatu tipe pendekatan umum untuk pemecahan masalah dan persamaan-persamaan khusus yang akan digunakan harus dikembangkan menyesuaikan dengan situasi individual (Aidawayati, 2013).

Program dinamik sering digunakan untuk mempermudah penyelesaian persoalan optimasi yang berkarakteristik tertentu dan waktu tidak selalu menjadi faktor (Purnomo, 2011). P.Siagian (1987) menyatakan bahwa prosedur pemecahan persoalan dalam program dinamik dilakukan secara rekursif. Ini berarti bahwa setiap kali mengambil keputusan, harus memperhatikan keadaan yang dihasilkan oleh keputusan sebelumnya. Karena itu, keadaan yang diakibatkan oleh suatu keputusan sebelumnya dan merupakan landasan bagi keputusan berikutnya, sehingga konsep tentang keadaan adalah sangat penting.



**GAMBAR 2. 4 DIAGRAM JARINGAN KEPUTUSAN**

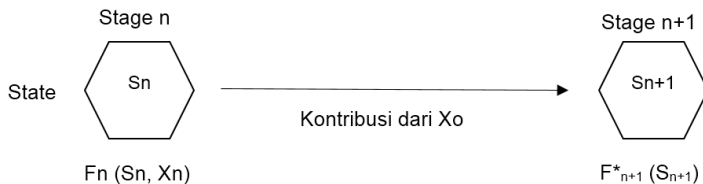
Secara umum dapat dinyatakan bahwa :

- $b_{11}=b_{ij}$  yang menyatakan  $b$  di mana  $i = 1$  dan  $j = 1$ , hal yang sama berlaku untuk  $P_{11}$  yakni  $P_{11}=P_{ij}$ .
- Tahap  $i$  diperluas dengan alternatif rencana perluasan  $j$ .
- Besaran-besaran  $b_{ij}$  menyatakan jumlah biaya yang diperlukan untuk perluasan dan  $P_{ij}$  menyatakan jumlah perolehan dari tahap  $i$  untuk rencana perluasan  $j$ .
- $b_{ij} = P_{ij} = 0$  untuk alternatif awal yaitu tanpa perluasan sama sekali.

Menurut Taha (1982) dalam Purnomo (2011) karakteristik permasalahan yang dapat dipecahkan melalui program dinamik terbagi atas 2 (dua) kategori, antara lain :

1) Kategori Deterministik

Keadaan pada tahap selanjutnya ditentukan sepenuhnya oleh keadaan dan keputusan kebijakan pada tahap sekarang. Pada tahap  $n$  proses akan berada pada suatu keadaan  $S_n$ . Pembuatan keputusan kebijakan  $X_n$  selanjutnya menggerakkan proses ke keadaan  $S_{n+1}$  pada tahap  $(n+1)$ . Fungsi tujuan di bawah kebijakan yang optimal telah dihitung sebelumnya sebagai  $f^*_{n+1}(S_{n+1})$ .



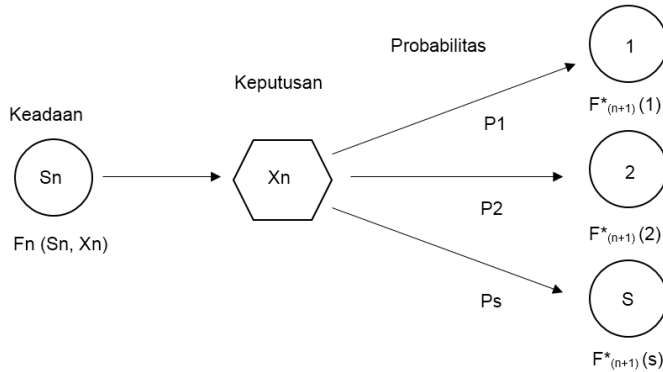
**GAMBAR 2. 5 PROGRAM DINAMIK DETERMINISTIK**

2) Kategori Probabilistik

Keadaan pada tahap selanjutnya sepenuhnya ditentukan oleh keadaan dan keputusan kebijakan pada tahap sebelumnya, sedangkan pemrograman dinamik probabilistik terdapat suatu probabilitas keadaan mendatang yang distribusi peluang ini tetap ditentukan



oleh keadaan dan keputusan kebijakan pada keadaan sebelumnya. Struktur dasar dalam pemrograman dinamik probabilistik diuraikan pada Gambar 2.6.



**GAMBAR 2. 6 PROGRAM DINAMIK PROBABILISTIK**

## **BAB 3 METODE PENELITIAN**

### **3.1 Umum**

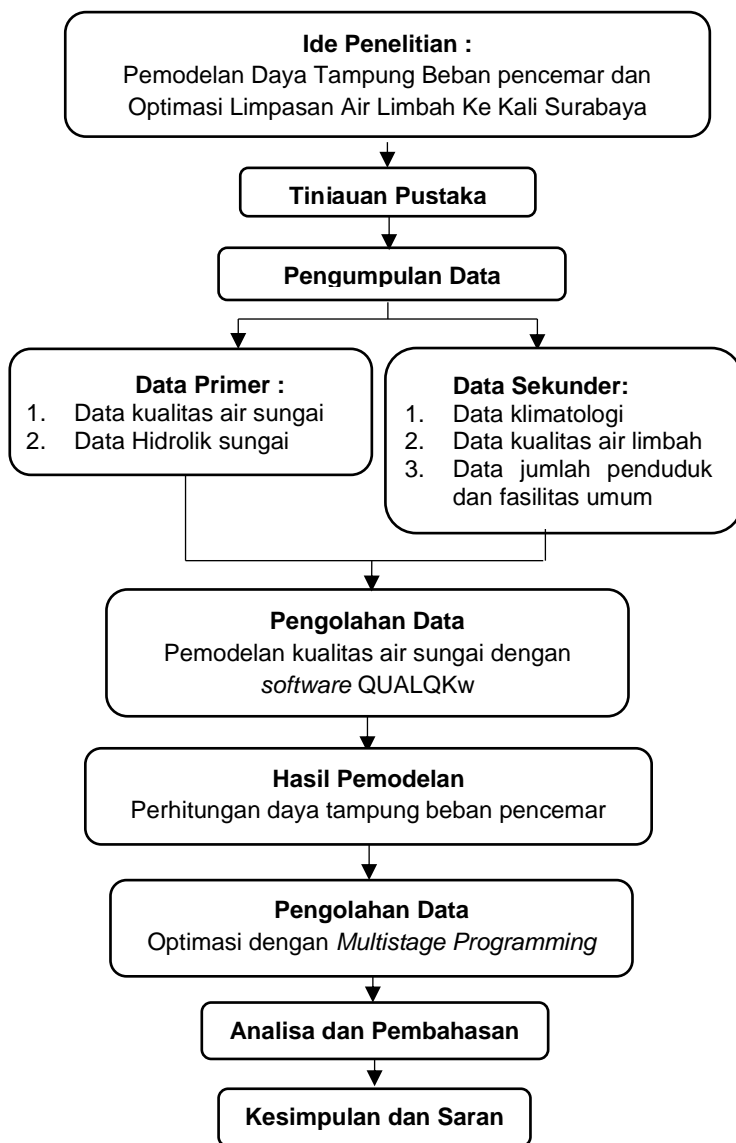
Tugas akhir ini bertujuan untuk mengkaji besaran beban pencemar dan proporsi beban pencemar serta mengkaji daya tampung beban pencemaran pada setiap segmen (segmen Tambangan Cangkir sampai Jembatan Sepanjang) Kali Surabaya. Selain itu, tujuan penelitian ini dilakukan untuk mengetahui optimasi limpasan air limbah yang dapat dibuang ke Kali Surabaya. Metodologi penelitian digunakan untuk merumuskan langkah-langkah yang akan dilakukan pada penelitian..

### **3.2 Kerangka Penelitian**

Kerangka penelitian yaitu alur atau prosedur dalam pelaksanaan penelitian. Tujuan dibuat kerangka penelitian adalah untuk mengetahui hal-hal yang berkaitan dengan penelitian agar tujuan penelitian dapat tercapai, serta memudahkan pembaca dalam memahami gambaran umum penelitian yang akan dilakukan. Penyusunan kerangka penelitian yang sistematis dapat menjadi pedoman awal dalam pelaksanaan penelitian, sehingga dapat mengurangi kesalahan yang berisiko selama penelitian berlangsung. Kerangka penelitian dapat dilihat pada Gambar 3.1.

### **3.3 Langkah Penelitian**

Langkah penelitian berisi penjelasan secara rinci mengenai tahapan-tahapan dalam kerangka penelitian agar mempermudah pemahaman. Berikut adalah penjelasan langkah-langkah dalam pelaksanaan penelitian :



**GAMBAR 3. 1 KERANGKA PENELITIAN**

### 3.3.1 Ide Penelitian

Ide penelitian ini diawali dengan melakukan GAP nalysis yaitu membandingkan kondisi ideal dengan kondisi eksisting sungai Kali Surabaya. Dalam penelitian ini ditemukan sebuah permasalahan dimana pemanfaatan sungai Kali Surabaya sebagai penyedia air bersih terkendala oleh kecenderungan kualitas air yang rendah. Pencemaran dan kontaminasi terjadi sebagai akibat pembuangan limbah industri, pertanian dan rumah tangga disepanjang sungai. Berdasarkan hasil analisa kualitas air Kali Surabaya yang dilakukan oleh PJT I, Kali Surabaya dalam kondisi tercemar karena parameter melebihi baku mutu air kelas I. Dari permasalahan tersebut maka perlu dilakukan upaya pengendalian pencemaran Kali Surabaya. Strategi yang dapat dilakukan adalah menetapkan daya tampung beban pencemaran dan mengoptimasi limpasan air limbah yang dibuang ke sungai Kali Surabaya.

### 3.3.2 Tinjauan Pustaka

Tinjauan Pustaka dilakukan untuk mendapatkan teori-teori yang dapat mendukung pelaksanaan penelitian. Tinjauan pustaka dilakukan dengan mencari sumber literatur yang tersedia, baik berupa buku, jurnal, artikel, *text book*, *prosiding*, peraturan dan laporan tugas akhir, tesis maupun disertasi.

### 3.3.3 Pengumpulan Data

Pada penelitian ini menggunakan metode analisis deskriptif kuantitatif dengan mengumpulkan data primer dan data sekunder. Pengumpulan data primer, meliputi :

1. Data kualitas air sungai Kali Surabaya (pH, temperatur, DO, BOD, dan COD).
2. Data hidrolis sungai Kali Surabaya (panjang, lebar, debit, kedalaman sungai, dan kecepatan aliran).

Data sekunder dibutuhkan untuk mendukung pembangunan model kualitas air dengan QUAL2Kw yang diperoleh dari dinas terkait. Pengumpulan data sekunder, meliputi :

1. Peta sungai Kali Surabaya diperoleh dari *google earth*.
2. Data jumlah penduduk dan fasilitas umum diperoleh dari *website* Badan Pusat Statistik dan Dinas Lingkungan Hidup (DLH) Provinsi Jawa Timur.

3. Data klimatologi diperoleh dari Badan Meteorologi, Klimatologi dan Geofisika (BMKG) Kota Surabaya.
4. Data debit dan kualitas air limbah industri (*point sources*) yang dibuang ke Kali Surabaya diperoleh dari DLH Kota Surabaya dan DLH Provinsi Jawa Timur.
5. Data debit dan kualitas air limbah domestik serta fasilitas umum (*diffuse sources*) diperoleh melalui tahapan perhitungan sebagai berikut :
  - a) Menetapkan radius sumber pencemar air limbah domestik yang berpotensi mencemari Kali Surabaya. Dimana menurut Ditjen Cipta Karya Departemen PU potensi sumber pencemar pada radius 0,5 km dari tepi kanan dan kiri sungai.
  - b) Mengumpulkan data terkait jumlah sumber pencemar air limbah domestik. Data meliputi jumlah rumah penduduk dan fasilitas umum yang berada pada radius 0,5 km dari tepi kanan dan kiri sungai.
  - c) Menghitung kebutuhan air bersih. Kebutuhan air bersih fasilitas umum diasumsikan sebagaimana dalam Tabel 3.1 sedangkan kebutuhan air bersih untuk domestik berdasarkan kategori kota dapat dilihat pada Tabel 3.2.

**TABEL 3. 1 KEBUTUHAN AIR BERSIH UNTUK FASILITAS UMUM**

Jenis Fasilitas	Nilai	Satuan
Sekolah	10	L/murid/hari
Kantor	10	L/pegawai/hari
Masjid	3000	L/hari
Pasar	12000	L/Ha/hari
Hotel	150	L/bed/hari
Rumah Makan	100	L/tempat duduk/hari
Rumah Sakit	200	L/bed/hari
Puskesmas	2000	L/hari

*Sumber : Ditjen Cipta Karya, Dep. PU, 2000*

**TABEL 3. 2 KEBUTUHAN AIR BERSIH UNTUK DOMESTIK  
BERDASARKAN KATEGORI KOTA**

N O	URAIAN	KATEGORI KOTA BERDASARKAN JUMLAH JIWA				
		>1.000.000	500.000	100.000	20.000	<20.000
			S/D 1.000.000	S/D 500.000	S/D 100.000	
		METRO	BESAR	SEDANG	KECIL	DESA
1	Konsumsi unit sambungan rumah (SR) l/o/h	190	170	130	100	80
2	Konsumsi unit hidran umum (HU) l/o/h	30	30	30	30	30
3	Konsumsi unit non domestik l/o/h (%)	20-30	20-30	20-30	20-30	20-30
4	Kehilangan air (%)	20-30	20-30	20-30	20-30	20-30
5	Faktor hari maksimum	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1
6	Faktor jam puncak	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5
7	Jumlah jiwa per SR	5	5	5	5	5
8	Jumlah jiwa per HU	100	100	100	100	100
9	Sisa tekan di penyediaan distribusi (mka)	10	10	10	10	10
10	Jam operasi	24	24	24	24	24
11	Volume reservoir (% max day demand)	20	20	20	20	20
12	SR : HR	50:50 s/d 80:20	50:50 s/d 80:20	80:20	70:30	70:30
13	Cakupan pelayanan (%)	*) 90	90	90	90	**) 70

\*) 60% perpipaan, 30% non perpipaan

Sumber : Ditjen Cipta Karya, tahun 2000

\*\*) 25% perpipaan, 45% non perpipaan

- d) Menghitung air limbah domestik yang dihasilkan dari hasil perkiraan besarnya debit penggunaan air bersih untuk rumah tangga, bangunan umum, institusional dan sebagainya. Dimana tidak keseluruhan air bersih akan mengalir sebagai air limbah. Ada faktor kehilangan yang terjadi akibat evaporasi, penyiraman tanaman, minum, yang besarnya diperkirakan sebesar 15%-40%. Dengan kata lain, debit air limbah rata-rata harian merupakan jumlah dari debit air limbah domestik dan debit air limbah dari fasilitas umum.

Untuk mencari besarnya debit air limbah domestik dapat digunakan rumus :

$$Q_d = (60\%-85\%) \times q_d$$

Sedangkan untuk mencari besarnya debit air limbah fasilitas umum digunakan rumus :

$$Q_{fu} = (60\%-85\%) \times q_{nd}$$

Sehingga besarnya debit air limbah rata-rata per harinya adalah :

$$Q_{ave} = Q_d + Q_{nd}$$

Di mana :

$Q_d$  = debit air limbah domestik (L/det)

$Q_{fu}$  = debit air limbah fasilitas umum (L/det)

$Q_{ave}$  = debit rata-rata air limbah per hari (L/det)

$q_d$  = kebutuhan air bersih domestik (L/orang/hari)

$q_{fu}$  = kebutuhan air bersih fasum (L/orang/hari)

- e) Mengestimasi beban pencemar akibat limbah domestik. Dilakukan dengan mengalikan jumlah penduduk dengan faktor emisi sumber tak tentu (*non-point source*) yang dapat dilihat pada Tabel 3.3 berikut ini.

**TABEL 3. 3 FAKTOR EMISI SUMBER TAK TENTU**

Sumber Pencemar Air	Faktor Emisi (gr/kapita/hari)			
	BOD	COD	TN	TP
<b>Pemukiman</b>				
<b>A. Limbah Cair Tanpa Diolah</b>	53	101,6	22,7	3,8
<b>B. Pakai Septic Tank</b>	12,6	24,2	5,4	0,9

Sumber : PerMen LH No. 01 Tahun 2010

### 3.3.4 Pengukuran Data Hidrolik Sungai

Data hidrolik sungai merupakan data keadaan sungai yang mempengaruhi sistem fluida sungai tersebut, seperti debit, kecepatan aliran, kedalaman, dan lebar sungai. Pada penelitian ini, kecepatan aliran ( $v$ ) diukur dengan cara menghitung selang waktu tempuh benda apung (bola plastik) dalam radius meter. Sedangkan penampang basah menurut SNI 8066:2015 dihitung

dari kedalaman air ( $h$ ) dan lebar sungai ( $w$ ) dapat dilihat pada Gambar 3.2. Kedalaman air diperoleh dengan cara mengukur kedalaman air pada titik tertentu dengan menggunakan alat *echosounder*. Luas penampang basah dihitung dengan menggunakan rumus :

$$a_x = \frac{b_{(x+1)} - b_{(x-1)}}{2} d_x$$

$$A = \sum_{x=1}^n a_x$$

Dimana :

$a_x$  = luas penampang basah pada bagian ke  $x$ , ( $m^2$ )

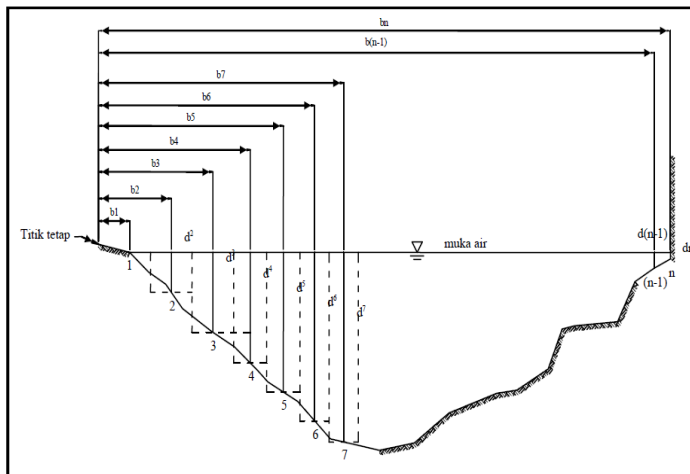
$b_{(x+1)}$  = jarak titik vertikal sesudah titik vertikal ke  $x$  dari titik tetap, (m)

$b_{(x-1)}$  = jarak titik vertikal sesudah titik vertikal ke  $x$  dari titik tetap, (m)

$d_x$  = kedalaman pada titik vertikal ke  $x$ , (m)

$A$  = luas seluruh penampang basah, ( $m^2$ )

Debit diperoleh melalui perkalian antara kecepatan ( $v$ ) dengan luas penampang basah sungai ( $A$ ).



**GAMBAR 3. 2 PENAMPANG MELINTANG PENGUKURAN DEBIT DENGAN MENGGUNAKAN PENAMPANG TENGAH (MID SECTION)**

Sumber : SNI 8066 : 2015

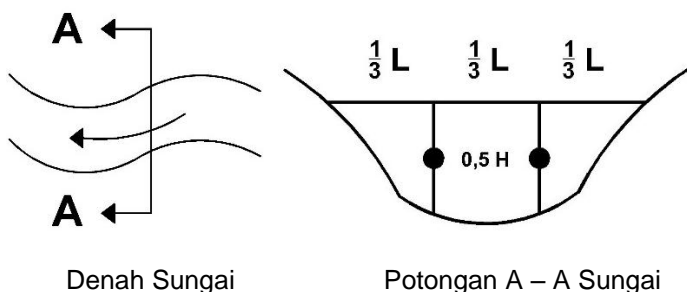


### 3.3.5 Sampling Kualitas Air

#### A. Lokasi dan Titik Sampling

Pemilihan lokasi sampling berdasarkan pada tersedianya tempat yang dapat memudahkan pengambilan sampel air sungai yaitu adanya tanggangan atau jembatan dan juga mendekati dengan lokasi sampling dari PJT 1. Adapun pertimbangan mendasar pemilihan lokasi sampling adalah adanya buangan limbah dari sumber pencemar baik *point sources* maupun *non-point sources* yang diduga berkontribusi mencemari air sungai Kali Surabaya. Penentuan titik sampling kualitas air sungai berdasarkan pada Standar Nasional Indonesia SNI 6989.57:2008. Titik pengambilan sampel di sungai ditentukan dari debit sungai.

Berdasarkan data dari PJT 1 diketahui bahwa debit sungai Kali Surabaya berkisar 20 - 150 m<sup>3</sup>/detik. Sehingga sungai dengan debit antara 5 - 150 m<sup>3</sup>/detik, sampel diambil pada dua titik masing-masing pada jarak  $\frac{1}{3}$  dan  $\frac{2}{3}$  lebar sungai pada kedalaman 0,5 kali kedalaman dari permukaan atau diambil dengan alat *integrated sampler* sehingga diperoleh sampel air dari permukaan sampai ke dasar secara merata kemudian dicampurkan. Titik sampling dalam penelitian ini berjumlah 4 titik. Setiap titik dilakukan pengukuran untuk data hidrolik sungai yang meliputi data kecepatan aliran, kedalaman sungai, debit sungai, dan lebar penampang sungai. Untuk lebih jelasnya terkait titik sampling dapat dilihat pada Gambar 3.3 berikut ini.



**GAMBAR 3. 3** TITIK PENGAMBILAN SAMPEL

## B. Pengambilan Sampel Uji Parameter Kualitas Air

Pengambilan sampel secara *time series*, dimana titik sampling berikutnya diambil berdasarkan kecepatan aliran (fungsi waktu) sungai dimana air pada titik pertama tiba pada titik kedua. Pengambilan sampel air berpedoman kepada SNI 6989.57:2008 tentang Metode Pengambilan Contoh Air Permukaan. Pada saat sampling untuk menunjang pengukuran parameter uji kualitas air sungai diperlukan beberapa alat dan bahan yang didasarkan dari *standard method*, antara lain :

- 1) Botol *winkler* untuk menyimpan sampel uji DO agar tidak ada kontaminan dan oksigen yang masuk ke dalam botol. Botol plastik 600 ml untuk menyimpan sampel air sungai Kali Surabaya.
- 2) Bahan kimia yang digunakan dalam pengawetan sampel uji DO yaitu  $\text{MnSO}_4$  dan pereaksi oksigen.
- 3) Termometer untuk mengukur suhu air.
- 4) Box pendingin untuk menyimpan sampel dengan rentang suhu  $2^{\circ}\text{--}4^{\circ}\text{C}$ .
- 5) Kamera sebagai alat untuk mendokumentasikan kegiatan sampling.
- 6) Tali tamper untuk membantu proses sampling.
- 7) Alat sampling berpemberat untuk mengambil air sungai Kali Surabaya.

Pada penelitian ini, pengambilan sampel dilakukan secara manual agar mudah untuk mengatur waktu dan tempat, serta dapat menggunakan bermacam-macam alat sesuai dengan keperluan. Khusus untuk pengambilan sampel uji parameter DO menggunakan botol *winkler*. Dalam botol *winkler*, dimasukan bahan pengawet yaitu pereaksi oksigen dan  $\text{MnSO}_4$ .  $\text{MnSO}_4$  yang ditambahkan akan mengoksidasi sampel pada keadaan alkalis, sehingga terjadi endapan  $\text{Mn}(\text{OH})_2$ . Oksigen akan dioksidasi menjadi endapan  $\text{MnO}_2$ . Penambahan pereaksi oksigen maka akan membebaskan iodin yang jumlahnya ekuivalen dengan oksigen terlarut. Kemudian, botol plastik dan *winkler* tersebut diawetkan dalam *cooling box*. Semua sampel yang dimasukan kedalam *cooling box* harus segera dianalisis pada Laboratorium.

### C. Pengawetan Sampel

Sampel yang diambil pada setiap segmen perlu diawetkan, karena sampel tidak langsung dianalisis. Analisis sampel dilakukan di Laboratorium Pemulihan Air Departemen Teknik Lingkungan, FTSLK ITS Surabaya. Cara pengawetan sampel merujuk pada SNI 6989.59:2008 dapat dilihat pada Tabel 3.4.

**TABEL 3. 4 CARA PENGAWETAN SAMPEL AIR**

N o	Parameter	Wadah Penyimpanan	Jumlah Sampel Minimum (mL)	Pengawetan	Lama penyimpanan maksimum yang dianjurkan	Lama Penyimpanan Maksimum menurut EPA
1	pH	P,G	50	Segera Dianalisa	0,25 jam	0,25 jam
2	Suhu	P,G	-	Segera Dianalisa	0,25 jam	0,25 jam
3	COD	P,G	100	Analisa secepatnya/menambahkan $H_2SO_4$ sampai pH < 2, didinginkan	7 hari	28 hari
4	BOD	P,G	1000	Didinginkan	6 jam	2 hari
5	DO	G Botol BOD	300	Titration dapat ditunda setelah contoh diasamkan	8 jam	8 jam

Keterangan:

Didinginkan pada suhu  $4^{\circ}C \pm 2^{\circ}C$

P : plastik (polietilen atau sejenisnya)

G (A) : gelas dicuci dengan 1 + 1  $HNO_3$

### 3.3.6 Pengolahan Data dengan QUAL2Kw

#### A. Input Data

Data primer maupun data sekunder sungai Kali Surabaya yang telah terkumpul, selanjutnya digunakan untuk meng-input data pada *software* QUAL2Kw. Terdapat beberapa *worksheet* yang harus diisi, berikut adalah *worksheet* yang diisi dalam penelitian kali ini :

- 1) Qual2K digunakan untuk memasukan informasi dan keterangan umum yang berhubungan dengan pengaplikasian model.
- 2) *Headwater* berfungsi untuk memasukkan debit dan konsentrasi pada hulu sungai.
- 3) *Worksheet* terkait data klimatologi : *air temperature, dew point temperature, wind speed, cloud cover, shade, solar*.
- 4) *Point source* berfungsi untuk memasukkan data kualitas air *point source* dan debit (*abstraction* dan *inflow*).
- 5) *Diffuse source* berfungsi untuk memasukkan data kualitas air *diffuse source* dan debit (*abstraction* dan *inflow*).
- 6) *Reach* berfungsi untuk memasukkan data terkait pembagian segmen, panjang segmen, koordinat segmen, ketinggian, kemiringan, *n Manning*, dan lebar sungai.
- 7) *Reach rates* berfungsi untuk melakukan kalibrasi model yang meliputi beberapa alternatif koefisien parameter kualitas air dan metode perhitungan yang ingin dipilih.
- 8) *Hydraulic data* berfungsi untuk memasukkan data hidrolis pada setiap *segmen* sungai yang meliputi debit, kedalaman, dan kecepatan aliran.
- 9) *Temperature data* berfungsi untuk memasukkan data terkait temperatur air disetiap segmen sungai.
- 10) *WQ data* berfungsi untuk memasukkan angka kualitas air pada setiap segmen sungai.

#### B. Kalibrasi Data

Kalibrasi data pada QUAL2Kw bertujuan dalam pembangunan model. Pada penelitian ini, kalibrasi dilakukan dengan cara *trial and error* serta *running* program secara berulang-ulang hingga hasil model mendekati kondisi sebenarnya. *Trial and error* dilakukan pada *Worksheet reach* dan *Worksheet reach rates* dengan menentukan koefisien masing-masing parameter.

### C. Validasi Model

Validasi model dilakukan untuk mengetahui kesesuaian model yang dihasilkan dengan data yang sebelumnya di input dalam proses pemodelan sehingga dapat digunakan untuk menjalankan skenario. Validasi dilakukan dengan metode *Root Mean Square Percent Error* (RMSPE) yang digunakan untuk mengkuantifikasi besar dan sifat error yang terjadi. RMSPE mengukur rata-rata prosentase perbedaan antara data aktual dan hasil simulasi, dengan menggunakan rumus (Abdullah, 2015) :

$$RMSPE = \sqrt{\frac{1}{n} \left[ \sum_{n=1}^n \left( \frac{St - At}{At} \right)^2 \right]} \times 100\%$$

Keterangan :

St : Nilai simulasi pada waktu t

At : Nilai aktual pada waktu t

n : Jumlah pengamatan (t=1,2,...,n)

Nilai RMSPE semakin mendekati 100% menunjukkan bahwa kesesuaian model dengan data lapangan sangat buruk. Apabila nilai RMSPE dibawah 20% dapat dinyatakan bahwa model bisa diterima (Hossain, 2014). Sedangkan jika nilai RMSPE pada model lebih besar dari 20%, maka perlu dilakukan kalibrasi kembali hingga model sesuai atau mendekati dengan data yang di input.

### D. Teknik Simulasi

Setelah model terkalibrasi dan tervalidasi dengan baik, maka dapat dilakukan beberapa simulasi pada model dengan tujuan mendapatkan gambaran obyek sesuai dengan beberapa kondisi. Simulasi dalam penelitian ini terbagi menjadi 4 simulasi yang akan digunakan untuk menghitung beban pencemar dan daya tampung sungai Kali Surabaya. Berdasarkan KepMenLH No. 110 Tahun 2003 disebutkan bahwa penetapan daya tampung minimal adalah 5 tahun sekali. Oleh karena itu, dalam salah satu simulasi model akan digunakan data hasil proyeksi hingga 5 tahun yang akan datang. Beberapa teknik simulasi yang akan digunakan dapat dilihat pada Tabel 3.5. berikut ini.

**TABEL 3. 5 SKENARIO SIMULASI**

Simulasi	Skenario			Tujuan Simulasi
	Perlakuan di Hulu	Perlakuan pada Point Sources	Perlakuan pada Diffuse Sources	
1	Sesuai Kondisi Sebenarnya	Sesuai Kondisi Sebenarnya	Sesuai Kondisi Sebenarnya	Menghitung beban pencemar yang masuk ke sungai Kali Surabaya
2	Sesuai Kondisi Sebenarnya	Sesuai Kondisi Sebenarnya	Hasil prediksi 5 tahun kedepan	Menghitung beban pencemar yang masuk ke sungai Kali Surabaya saat 5 tahun mendatang
3	Memenuhi Baku Mutu Air Kelas I	Dihilangkan	Dihilangkan	Mengetahui proses self-purification pada sungai Kali Surabaya tanpa adanya beban pencemar yang masuk
4	Memenuhi Baku Mutu Air Kelas I	Trial dan Error hingga memenuhi BMA Kelas I	Trial dan Error hingga memenuhi BMA Kelas I	Mengetahui besaran beban pencemar tanpa menyebabkan sungai Kali Surabaya tercemar

### 1. Simulasi 1

Simulasi 1 adalah simulasi kondisi sebenarnya (eksisting). Data yang digunakan adalah data debit dan kualitas air sungai Kali Surabaya yang sebenarnya berdasarkan hasil sampling (data primer). Selain itu, data klimatologi dan data sumber pencemar baik *point sources* maupun *diffuse sources* menggunakan data eksisting yang diperoleh dari instansi terkait (data sekunder). Simulasi ini bertujuan untuk menghitung beban pencemar eksisting yang masuk ke sungai Kali Surabaya.

## 2. Simulasi 2

Simulasi 2 adalah simulasi dengan sumber pencemar pada saat 5 tahun mendatang. Data kondisi kualitas air di hulu sungai menggunakan data eksisting (data primer). Data klimatologi dan data sumber pencemar *point sources* juga menggunakan data eksisting yang berasal dari instansi terkait (data sekunder). Sedangkan data sumber pencemar *diffuse sources* merupakan hasil prediksi dari proyeksi jumlah penduduk pada Tahun 2023. Simulasi ini bertujuan untuk menghitung beban pencemar yang masuk ke sungai Kali Surabaya pada Tahun 2023. Karena berdasarkan KepMenLH No. 110 /2003 disebutkan bahwa penetapan daya tampung minimal adalah 5 tahun sekali.

## 3. Simulasi 3

Simulasi 3 adalah simulasi tanpa sumber pencemar yang masuk ke badan air. Data kondisi kualitas air di hulu sungai dibuat memenuhi baku mutu air kelas I. Data klimatologi menggunakan data eksisting yang berasal dari instansi terkait (data sekunder). Data sumber pencemar baik *point sources* maupun *diffuse sources* dihilangkan kecuali, data sumber pencemar yang berasal dari anak sungai dibuat memenuhi baku mutu badan air kelas I. Simulasi ini bertujuan untuk mengetahui kemampuan *self-purification* Kali Surabaya tanpa ada sumber pencemar yang masuk.

## 4. Simulasi 4

Simulasi 4 adalah simulasi yang dibuat untuk memenuhi BMA kelas I sehingga data kondisi kualitas air di hulu sungai dibuat memenuhi BMA kelas I. Data klimatologi menggunakan data eksisting yang berasal dari instansi terkait (data sekunder). Pada simulasi ini, dilakukan *trial and error* pada debit dan kualitas air sumber pencemar baik *point sources* maupun *diffuse sources*. *Trial and error* dianggap selesai apabila data kualitas air sungai dan sumber pencemar pada worksheet *output* sudah memenuhi nilai BMA kelas I. Simulasi ini bertujuan untuk mengetahui besaran beban pencemar yang diperbolehkan masuk ke sungai Kali Surabaya.

### 3.3.7 Perhitungan Daya Tampung

Perhitungan daya tampung beban pencemaran ini berfungsi untuk mengetahui kemampuan badan air Kali Surabaya dalam menampung batas maksimum limbah yang masuk ke dalamnya. Perhitungan daya tampung diperoleh dari hasil selisih nilai beban pencemar pada simulasi 4 dan 3. Simulasi 4 adalah kondisi dimana beban pencemar maksimum atau kondisi beban pencemar yang diperbolehkan masuk ke sungai Kali Surabaya tanpa menyebabkan tercemar. Sedangkan simulasi 3 merupakan kondisi awal sungai tanpa ada beban pencemar yang masuk.

$$\text{Daya tampung} = \text{beban pencemar penuh} - \text{beban kondisi awal}$$

### 3.3.8 Pengolahan Data dengan Program Dinamik

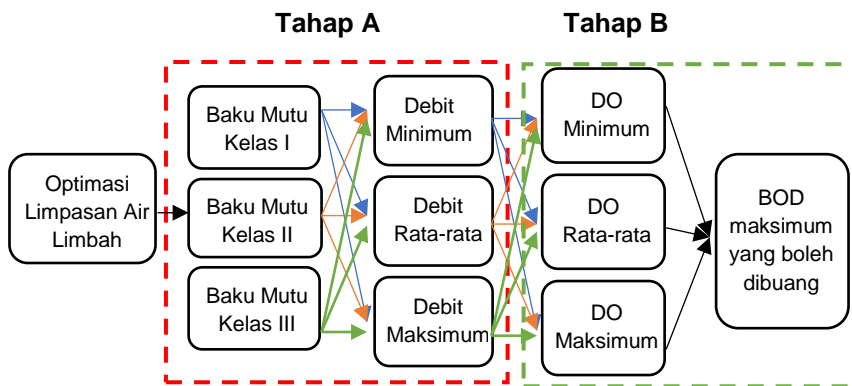
Pada tahap ini, segala kemungkinan yang akan terjadi dihitung dan dianalisa untuk mencapai tujuan penelitian. Batasan yang digunakan yaitu baku mutu air sungai kelas I berdasarkan pada PP No. 82 Tahun 2001 dan Peraturan Gubernur Jawa Timur No. 61 Tahun 2010. Tujuan pengolahan data dengan metode ini guna mengetahui konsentrasi zat pencemar yang dapat dibuang ke sungai Kali Surabaya.

Pada program dinamik terdapat parameter dan variabel yang terikat. Parameter yang ditinjau pada penelitian ini adalah konsentrasi BOD sungai. Variabel yang dianggap dapat mempengaruhi konsentrasi BOD di sungai adalah konsentrasi DO sungai dan debit. Parameter dan variabel yang digunakan berasal dari hasil sampling kualitas air sungai Kali Surabaya pada Tahun 2016-2017 (data sekunder). Data diperoleh dari Perum Jasa Tirta I dan untuk melengkapi data sekunder tersebut dilakukan sampling secara mandiri selama 4 kali pada Tahun 2018. Data yang sudah terkumpul selanjutnya dibagi menjadi nilai minimum, nilai rata-rata, dan nilai maksimum.

Tahapan yang digunakan dalam program dinamik dapat dilihat pada Gambar 3.4. Tahap A merupakan tahap penentuan batasan dan konstanta penguraian zat organik di Sungai. Tahap B merupakan tahap penentuan konsentrasi pencemar (BOD) yang



boleh dibuang ke Kali Surabaya pada saat debit minimum dengan DO (minimum, rata-rata, dan maksimum), saat debit rata-rata dengan (DO minimum, rata-rata, dan maksimum), dan saat debit maksimum dengan (DO minimum, rata-rata, dan maksimum). Nilai konsentrasi BOD mencakup *point source* dan *diffuse source*. Masing-masing tahapan (Tahap A dan B) dilakukan guna memenuhi baku mutu air kelas I, II, dan III.



**GAMBAR 3. 4 DIAGRAM ALIR PROGRAM DINAMIK UNTUK SETIAP SEGMENT SUNGAI**

### 3.3.9 Analisa dan Pembahasan

Dalam tahap ini setiap langkah pengolahan data akan dilakukan analisa dan pembahasan hasil yang diperoleh. Analisa dan pembahasan menyesuaikan dengan literatur yang ada dan disiplin ilmu yang berkaitan dengan data yang diperoleh.

### 3.3.10 Kesimpulan dan Saran

Pada tahap ini, kesimpulan diambil untuk menjawab tujuan dari penelitian. Kesimpulan diambil berdasarkan pada hasil analisa dan pembahasan. Selain itu, pemberian saran terhadap penelitian diperlukan untuk mengembangkan penelitian lanjutan.

## **BAB 4**

### **HASIL DAN PEMBAHASAN**

Pada bab ini akan dijelaskan secara detail terkait tujuan dari penelitian. Pembahasan didalam bab ini terbagi menjadi 3 (tiga) tahapan, yaitu :

1) Tahap Pertama

Penjabaran terkait data eksisting (kondisi yang sebenarnya) sungai Kali Surabaya antara lain tentang data hidrolis sungai, data debit dan kualitas air sungai, prediksi jumlah sumber pencemar yang membuang limbah ke sungai Kali Surabaya, serta data debit dan kualitas sumber pencemar tersebut.

2) Tahap Kedua

Pemodelan kualitas air sungai Kali Surabaya menggunakan program QUAL2Kw. Apabila model sudah terkalibrasi dan valid maka akan digunakan untuk melakukan simulasi dengan skenario yang berbeda. Tujuan dari simulasi tersebut adalah untuk mengkaji besaran beban pencemar dan proporsi beban pencemar serta menghitung daya tampung beban pencemar sungai Kali Surabaya.

3) Tahap Ketiga

Apabila diketahui nilai beban pencemar melebihi daya tampung sungai maka perlu dilakukan optimasi limpasan air limbah. Optimasi dilakukan dengan menghitung konsentrasi BOD dari air limbah yang dapat dibuang ke sungai Kali Surabaya tanpa mengakibatkan cemar dengan penyelesaian secara bertahap (*multistage programming*).

#### **4.1 Data Eksisting Kali Surabaya**

##### **4.1.1 Segmentasi Kali Surabaya**

Pelaksanaan penelitian dilakukan dengan membagi sungai Kali Surabaya dari Cangkir sampai dengan Sepanjang menjadi 3 (tiga) segmen untuk mempermudah penentuan titik pengambilan sampel air sungai. Selain itu, segmentasi juga diperlukan untuk pembangunan model QUAL2Kw. Segmentasi ini didasarkan atas adanya tempat untuk pengambilan sampel,

masuk dari anak sungai, keluar dari sungai menuju anak sungai, perubahan hidrolis sungai dan kesesuaian karakteristik kualitas air. Pembagian segmen sungai Kali Surabaya dapat dilihat pada Tabel 4.1 berikut ini.

**TABEL 4. 1 SEGMENTASI KALI SURABAYA**

Nama Segmen	Panjang (km)	Km	Koordinat	
			Hulu	Hilir
<b>Cangkir - Bambe</b>	3,60	9,15 - 5,55	7°21,57,76" LS	7°21,57,76" LS
			112°37'58,52" BT	112°37'58,52" BT
<b>Bambe - Karangpilang</b>	3,75	5,55 - 1,80	7°21,57,76" LS	7°20,54,54" LS
			112°37'58,52" BT	112°40'52,52" BT
<b>Karangpilang - Sepanjang</b>	1,8	1,80 - 0,00	7°20,54,54" LS	7°20,56,00" LS
			112°40'52,52" BT	112°41'42,60" BT

*Sumber : Hasil Pengamatan (2018)*

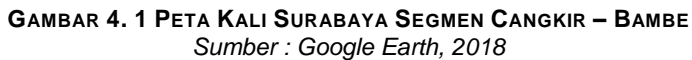
1) Segmen Cangkir – Bambe

Segmen ini merupakan titik pengambilan sampel pertama dan kedua. Lokasi hulu berada di tambangan Cangkir dan lokasi hilir berada di tambangan Bambe. Jarak antara hulu dan hilir pada segmen ini  $\pm 3,6$  km. Segmen ini dibagi berdasarkan karakteristik kualitas air sungai yaitu adanya masukan dan keluaran anak sungai, masukan dari limbah domestik, dan limbah industri. Peta segmen pertama ini dapat dilihat pada Gambar 4.1.

2) Segmen Bambe – Karangpilang

Segmen ini merupakan titik pengambilan sampel kedua dan ketiga. Lokasi hulu berada di tambangan Bambe dan lokasi hilir berada di Karangpilang. Jarak antara hulu dan hilir pada segmen ini  $\pm 3,75$  km. Segmen ini dibagi berdasarkan karakteristik kualitas air sungai yaitu adanya masukan dan keluaran anak sungai, masukan dari limbah domestik dan limbah industri. Selain itu, pada segmen ini terdapat pengambilan air sungai sebagai air baku PDAM Surabaya. Peta segmen kedua dapat dilihat pada Gambar 4.2.

Segmen ini merupakan titik pengambilan sampel ketiga dan keempat. Lokasi hulu berada di Karangpilang dan lokasi hilir berada di Jembatan Sepanjang. Jarak antara hulu dan hilir pada segmen ini  $\pm 1,8$  km. Segmen ini dibagi berdasarkan karakteristik kualitas air sungai yaitu adanya masukan dari limbah domestik dan limbah industri. Peta segmen ketiga ini dapat dilihat pada Gambar 4.3.





**TABEL 4. 2 DATA KLIMATOLOGI KOTA SURABAYA TAHUN 2017**

<b>Bulan Ke-</b>	<b>Suhu Minimum</b>	<b>Suhu Maksimum</b>	<b>Suhu Rata-rata</b>	<b>Kelembaban Rata-rata</b>	<b>Curah Hujan</b>	<b>Lama Penyinaran</b>	<b>Kecepatan Angin Rata-rata</b>	<b>Arah Angin Terbanyak</b>	<b>Kecepatan Angin Terbesar</b>
	(°C)	(°C)	(°C)	(%)	(mm)	(jam)	(knot)	(deg)	(knot)
<b>1</b>	24,0	34,7	27,6	83,8	12,7	4,1	2,9	N, W	11
<b>2</b>	23,7	33,8	27,7	82,2	11,2	4,4	3,6	W	13
<b>3</b>	23,0	34,0	27,9	81,4	9,3	4,7	2,4	N	9
<b>4</b>	24,0	33,1	28,2	81,3	10,5	5,6	2,0	N	21
<b>5</b>	23,0	34,0	28,7	75,9	2,6	7,5	2,7	E	9
<b>6</b>	22,4	33,0	28,0	78,4	2,2	6,7	2,7	E	8
<b>7</b>	21,3	32,6	27,5	75,1	1,3	8,1	3,0	E	8
<b>8</b>	20,7	32,5	27,2	71,9	0,0	8,9	3,4	E	11
<b>9</b>	21,5	34,2	28,3	70,1	0,0	8,0	3,8	E	9
<b>10</b>	24,5	35,9	29,8	70,0	2,9	7,9	3,2	E	8
<b>11</b>	23,6	34,8	28,3	80,0	11,0	4,5	2,6	N, W	8
<b>12</b>	23,1	34,0	28,0	81,0	14,7	4,4	2,9	W	10

*Sumber : BMKG Juanda Surabaya (2018)*

**TABEL 4. 3 DATA HIDROLIK KALI SURABAYA**

No.	Lokasi Titik Sampling	Lebar	Kedalaman rata-rata	Kecepatan rata-rata	Debit rata-rata
		(m)	(m)	(m/det)	(m <sup>3</sup> /det)
1	Cangkir	43,72	2,10	0,489	38,78
2	Bambe	47,22	2,42	0,465	41,37
3	Karangpilang	42,60	2,26	0,457	39,81
4	Sepanjang	42,20	2,25	0,410	37,86

Sumber : Hail Pengukuran (2018)

#### 4.1.4 Data Kualitas Air Sungai Kali Surabaya

Pada penelitian ini, data kualitas air sungai Kali Surabaya untuk pembangunan model QUAL2Kw diperoleh melalui sampling secara langsung (data primer). Titik lokasi sampling menyesuaikan dengan titik lokasi sampling PJT I. Terdapat 4 lokasi titik sampling dan pengambilan sampel dilaksanakan secara *time series*. Adapun sampling dilaksanakan selama 4 (empat) kali pada hari yang berbeda. Metode analisis sampel mengacu pada metode SNI dan APHA. Hasil analisis kualitas air sungai Kali Surabaya dapat dilihat pada Tabel 4.4 berikut ini.

**TABEL 4. 4 DATA KUALITAS AIR SUNGAI KALI SURABAYA TAHUN 2018**

No.	Parameter	Lokasi Titik Sampling	Baku Mutu*	Periode Sampling			
				1	2	3	4
1	pH	Cangkir	6-9	7,85	7,93	7,99	7,96
		Bambe		8,00	7,92	7,97	7,97
		Karangpilang		7,87	7,89	7,92	7,64
		Sepanjang		7,92	7,90	7,92	7,95
2	BOD (mg/L)	Cangkir	2	3,42	2,66	3,64	5,52
		Bambe		4,08	1,05	4,50	3,52
		Karangpilang		1,20	2,20	4,94	1,62
		Sepanjang		1,12	1,98	4,94	4,20

No.	Parameter	Lokasi Titik Sampling	Baku Mutu*	Periode Sampling			
				1	2	3	4
3	COD (mg/L)	Cangkir	10	24	24	18	28
		Bambe		22	12	20	16
		Karangpilang		20	16	24	14
		Sepanjang		12	16	24	26
4	DO (mg/L)	Cangkir	6	5,40	5,30	4,50	5,10
		Bambe		4,90	5,40	4,35	4,50
		Karangpilang		4,70	4,30	3,50	4,50
		Sepanjang		4,50	5,80	3,90	4,40

Sumber : Hasil Analisis Laboratorium (2018)

\*PP No. 82 Tahun 2001

Berdasarkan Tabel 4.4 dapat dilihat bahwa nilai rata-rata untuk masing-masing parameter melebihi baku mutu air kelas I. Dimana nilai baku mutu BOD sungai kelas I adalah 2 mg/L sedangkan hasil analisis BOD selama empat kali sampling melebihi 2 mg/L yaitu 3,42 mg/L; 2,66 mg/L; 3,64 mg/L; dan 5,52 mg/L. Nilai baku mutu COD sungai kelas I adalah 10 mg/L sedangkan hasil analisis COD selama empat kali sampling melebihi nilai tersebut yaitu 24 mg/L, 24 mg/L, 18mg/L, dan 28 mg/L. Nilai DO sungai minimum sesuai baku mutu air kelas I adalah 6 mg/L sedangkan hasil analisis selama empat kali sampling selalu dibawah nilai tersebut yaitu 5,4 mg/L; 5,3 mg/L; 4,5 mg/L; dan 5,1 mg/L.

## 4.2 Prediksi Sumber Pencemar Kali Surabaya

Penentuan jumlah sumber pencemar yang masuk ke sungai Kali Surabaya berdasarkan aliran *point source* dan aliran *diffuse source*. Adapun sumber pencemar yang dihitung adalah jumlah industri, fasilitas umum, dan jumlah penduduk yang berada pada radius 0,5 km dari tepi kanan dan kiri sungai. Berdasarkan data yang diperoleh dari hasil observasi lapangan dan studi literatur dari penelitian sebelumnya, data jumlah sumber pencemar yang masuk ke sungai Kali Surabaya dapat dilihat pada Tabel 4.5 hingga Tabel 4.13 berikut ini.



**TABEL 4. 5 JUMLAH SUMBER PENCEMAR FASILITAS PENDIDIKAN**

No.	Nama Segmen	Fasilitas Pendidikan		
		Kanan	Kiri	Jumlah
1	Cangkir - Bambe	6	3	9
2	Bambe – Karangpilang	4	2	6
3	Karangpilang – Sepanjang	4	3	7

*Sumber : DLH Prov. Jatim (2016)*

**TABEL 4. 6 JUMLAH SUMBER PENCEMAR FASILITAS PASAR**

No.	Nama Segmen	Fasilitas Pasar		
		Kanan	Kiri	Jumlah
1	Cangkir - Bambe	1	1	2
2	Bambe – Karangpilang	2	0	2
3	Karangpilang – Sepanjang	1	1	2

*Sumber : DLH Prov. Jatim (2016)*

**TABEL 4. 7 JUMLAH SUMBER PENCEMAR FASILITAS PERTOKOAN**

No.	Nama Segmen	Fasilitas Pertokoan		
		Kanan	Kiri	Jumlah
1	Cangkir - Bambe	28	81	109
2	Bambe – Karangpilang	25	19	44
3	Karangpilang – Sepanjang	37	28	65

*Sumber : DLH Prov. Jatim (2016)*

**TABEL 4. 8 JUMLAH SUMBER PENCEMAR FASILITAS PUSKESMAS**

No.	Nama Segmen	Fasilitas Puskesmas		
		Kanan	Kiri	Jumlah
1	Cangkir - Bambe	0	0	0
2	Bambe – Karangpilang	0	0	0
3	Karangpilang – Sepanjang	1	0	1

*Sumber : DLH Prov. Jatim (2016)*

**TABEL 4. 9 JUMLAH SUMBER PENCEMAR FASILITAS RUMAH SAKIT**

No.	Nama Segmen	Fasilitas Rumah Sakit		
		Kanan	Kiri	Jumlah
1	Cangkir - Bambe	0	0	0
2	Bambe – Karangpilang	0	0	0
3	Karangpilang - Sepanjang	1	0	1

*Sumber : DLH Prov. Jatim (2016)*

**TABEL 4. 10 JUMLAH SUMBER PENCEMAR FASILITAS RUMAH MAKAN**

No.	Nama Segmen	Fasilitas Rumah Makan		
		Kanan	Kiri	Jumlah
1	Cangkir - Bambe	21	62	83
2	Bambe – Karangpilang	31	23	54
3	Karangpilang - Sepanjang	47	35	82

*Sumber : DLH Prov. Jatim (2016)*

**TABEL 4. 11 JUMLAH SUMBER PENCEMAR FASILITAS TEMPAT IBADAH**

No.	Nama Segmen	Fasilitas Tempat Ibadah		
		Kanan	Kiri	Jumlah
1	Cangkir - Bambe	5	6	11
2	Bambe – Karangpilang	2	2	4
3	Karangpilang - Sepanjang	3	2	5

*Sumber : DLH Prov. Jatim (2016)*

**TABEL 4. 12 JUMLAH INDUSTRI SEBAGAI SUMBER PENCEMAR**

No.	Nama Perusahaan	Jenis Industri	Lokasi (Km)
1	PT. Priscolin	Minyak	6,75
2	PT. Surabaya Wire	Kawat	6,7
3	Kali Tengah	Saluran	5,45
4	PT. Kedawung Setia	Karton Box	5,2

No.	Nama Perusahaan	Jenis Industri	Lokasi (Km)
5	PT. Spindo	Pipa Baja	5,1
6	PT. Suparma	Kertas	4,9
7	PT. Sarimas Permai	Minyak Kelapa	3,8
8	Kali Pelayaran	Anak Sungai	3,25
9	Saluran Warugunung	Anak Sungai	3,2
10	PT. Asia Victory	Keramik	3,5
11	PT. IKI Mutiara	Plastik	3,15
12	CV. Sumber Baru	Konveksi	3,15
13	Perusahaan Tegel Jombang	Keramik	1,82
14	CV. Bangun	Ubin	1,8
15	Pabrik Tahu Purnomo	Tahu	1,74
16	PT. Jayabaya Raya	Deterjen	1,59
17	PT. Pakabaya Raya	Bahan Kimia	1,44

Sumber : DLH Prov. Jatim (2016) dalam Sumiyarsono (2018)

**TABEL 4. 13 JUMLAH RUMAH DAN PENDUDUK SEBAGAI SUMBER PENCEMAR DOMESTIK**

No.	Nama Segmen	Jumlah Rumah		Jumlah Penduduk	
		Kanan	Kiri	Kanan	Kiri
		(a)	(b)	(c) = (a) x 5	(d) = (b) x 5
1	Cangkir - Bambe	3550	2631	17750	10524
2	Bambe - Karangpilang	4021	2648	20105	10592
3	Karangpilang - Sepanjang	2680	1765	13400	7060

Sumber : Hasil Pengamatan (2018)

### 4.3 Debit dan Kualitas Air Sumber Pencemar

#### 4.3.1 Pencemar Dari Limbah Domestik

Sumber pencemar sungai Kali Surabaya dari Limbah domestik berasal dari sanitasi masyarakat yang tinggal di sepanjang bantaran sungai, sampah, deterjen, dan bahan buangan non-industri lainnya. Berdasarkan data Badan Pusat

Statistik Kota Surabaya, jumlah penduduk Kota Surabaya pada Tahun 2016 mencapai 3.016.653 jiwa. Sehingga Kota Surabaya masuk dalam kategori Kota Metro karena jumlah penduduknya diatas 1.000.000 jiwa. Konsumsi air bersih untuk domestik dengan kategori kota metro berkisar 190 L/orang/hari dan diasumsikan 80% nya akan menjadi air limbah domestik. Perhitungan selengkapnya terkait debit air limbah domestik dapat dilihat pada Tabel 4.14. Potensi beban pencemar dari limbah domestik dapat diperkirakan dengan cara mengalikan jumlah penduduk dengan faktor emisi BOD atau COD yang dapat dilihat pada Tabel 4.15.

**TABEL 4. 14 PERHITUNGAN DEBIT AIR LIMBAH DOMESTIK**

No.	Nama Segmen	Jumlah Penduduk	Debit Air Bersih	Debit Air Limbah	Debit Air Limbah
		(orang)	(L/hari)	(L/hari)	(m <sup>3</sup> /detik)
		(a)	(b) = (a) x 190 L/orang.hari	(c) = 80% x (b)	
1	Cangkir - Bambe	28274	5372060	4297648	0,050
2	Bambe - Karangpilang	30697	5832430	4665944	0,054
3	Karangpilang - Sepanjang	20460	3887400	3109920	0,036

*Sumber : Hasil Perhitungan (2018)*

**TABEL 4. 15 PERHITUNGAN KUALITAS AIR LIMBAH DOMESTIK**

No.	Nama Segmen	Jumlah Penduduk	Debit Air Limbah	BOD	COD
		(orang)	(L/hari)	(mg/L)	(mg/L)
		(a)	(b)	(c)=(a):(b)x(y)	(d)=(a):(b)x(z)
1	Cangkir - Bambe	28274	4297648	82,895	159,211
2	Bambe - Karangpilang	30697	4665944	82,895	159,211
3	Karangpilang - Sepanjang	20460	3109920	82,895	159,211

*Sumber : Hasil Perhitungan (2018)*

(y) = faktor emisi 12,6 g BOD/orang/hari

(z) = faktor emisi 24,2 g COD/orang/hari

Perhitungan debit air limbah domestik tidak hanya berasal dari rumah tangga saja melainkan juga dari fasilitas umum. Adapun jumlah pengguna fasilitas umum berdasarkan pendekatan di lapangan. Data terkait kualitas air sumber pencemar fasilitas umum dapat dilihat pada Tabel 4.16 sedangkan perhitungan debit air sumber pencemar fasilitas umum dapat dilihat pada Tabel 4.17.

**TABEL 4. 16 KUALITAS AIR SUMBER PENCEMAR FASILITAS UMUM**

No.	Jenis Fasilitas	BOD	COD
		(mg/L)	(mg/L)
1	Pendidikan	11,96	35,53
2	Pasar	11,96	35,53
3	Pertokoan	11,96	35,53
4	Puskesmas	46,15	99,59
5	Rumah Sakit	125,3	283,62
6	Rumah Makan	1670	2680
7	Tempat Ibadah	11,96	35,53

*Sumber : DLH Prov. Jatim (2016)*

#### **4.3.2 Pencemar Dari Limbah Industri**

Terdapat banyak industri yang berada disepanjang bantaran sungai Kali Surabaya terutama yang berlokasi di daerah Driyorejo dan Karangpilang. Jenis industri yang terutama adalah industri pulp dan kertas, MSG, tekstil, minyak, detergen, dan bahan kimia. Selain sumber pencemar dari industri yang membuang limbahnya langsung ke sungai Kali Surabaya, ada juga buangan industri melalui anak sungai Kali Tengah dan Kali Pelayaran serta saluran pembuangan Waru Gunung. Berbagai jenis limbah industri tersebut dapat menyebabkan penurunan kualitas air sungai Kali Surabaya. Data debit dan kualitas air sumber *pencemar point sources* yang masuk ke sungai Kali Surabaya diperoleh dari hasil pemantauan yang dilakukan oleh Dinas Lingkungan Hidup (DLH) Provinsi Jawa Timur yang dapat dilihat pada Tabel 4.18.

**TABEL 4. 17 PERHITUNGAN DEBIT SUMBER PENCEMAR FASILITAS UMUM**

<b>No.</b>	<b>Nama Segmen</b>	<b>Jenis Fasilitas</b>	<b>Jumlah Unit</b>	<b>Debit Air Bersih (L/hari)</b>	<b>Debit Air Limbah (L/hari)</b>	<b>Debit Air Limbah (m<sup>3</sup>/detik)</b>
<b>1</b>	<b>Cangkir - Bambe</b>	Pendidikan	9	36000	28800	0,000333
		Pasar	2	31740	25392	0,000294
		Pertokoan	109	10900	8720	0,000101
		Puskesmas	0	0	0	0,000000
		Rumah Sakit	0	0	0	0,000000
		Rumah Makan	83	166000	132800	0,001537
		Tempat Ibadah	11	3300000	2640000	0,030556
<b>2</b>	<b>Bambe - Karangpilang</b>	Pendidikan	6	24000	19200	0,000222
		Pasar	2	31740	25392	0,000294
		Pertokoan	44	4400	3520	0,000041
		Puskesmas	0	0	0	0,000000
		Rumah Sakit	0	0	0	0,000000
		Rumah Makan	54	108000	86400	0,001000
		Tempat Ibadah	4	1200000	960000	0,011111

No.	Nama Segmen	Jenis Fasilitas	Jumlah Unit	Debit Air Bersih (L/hari)	Debit Air Limbah (L/hari)	Debit Air Limbah (m <sup>3</sup> /detik)
3	Karangpilang - Sepanjang	Pendidikan	7	28000	22400	0,000259
		Pasar	2	31740	25392	0,000294
		Pertokoan	65	6500	5200	0,000060
		Puskesmas	1	0	0	0,000000
		Rumah Sakit	1	0	0	0,000000
		Rumah Makan	82	164000	131200	0,001519
		Tempat Ibadah	5	1500000	1200000	0,013889

*Sumber : Hasil Perhitungan (2018)*

**TABEL 4. 18 DEBIT DAN KUALITAS AIR LIMBAH INDUSTRI**

No.	Nama Perusahaan	BOD (mg/L)	COD (mg/L)	Debit (m <sup>3</sup> /detik)
1	PT. Priscolin	0,18	0,71	0,000006
2	PT. Surabaya Wire	4,32	14,53	0,0030
3	Kali Tengah	21,60	53,80	0,8000
4	PT. Kedawung Setia	3,31	43,08	0,0020
5	PT. Spindo	0	0	0,0090
6	PT. Suparma	9,22	23,50	0,1000
7	PT. Sarimas Permai	13,04	31,60	0,0010
8	Kali Pelayaran	4,80	8,20	2,5000
9	Saluran Warugunung	55,10	122,92	0,6000
10	PT. Asia Victory	2,72	10,06	0,0020
11	PT. IKI Mutiara	0	0	0,0110
12	CV. Sumber Baru	34,83	819,50	0,0020
13	Perusahaan Tegel Jombang	37,87	58,28	0,0150
14	CV. Bangun	0,07	0,30	0,0001
15	Pabrik Tahu Purnomo	343,80	542,10	0,0010
16	PT. Jayabaya Raya	0,05	5,06	0,0003
17	PT. Pakabaya Raya	16,21	107,12	0,0024

Sumber : DLH Prov. Jatim, PJT (2016) dalam Sumiyarsono (2018)

Sungai Kali Surabaya selain dimanfaatkan sebagai saluran pembuangan sumber pencemar juga dimanfaatkan sebagai air baku untuk kegiatan industri. Adanya pengambilan air akan mempengaruhi debit sungai Kali Surabaya. Data selengkapnya terkait pengambilan air dapat dilihat pada Tabel 4.19 berikut ini.

**TABEL 4. 19 PENGAMBILAN AIR KALI SURABAYA**

No.	Nama Perusahaan	Lokasi (Km)	Debit Keluar (m <sup>3</sup> /det)
1	PT. Kedawung Setia	5,2	0,02
2	PT. Spindo	5,1	0,023



No.	Nama Perusahaan	Lokasi (Km)	Debit Keluar (m <sup>3</sup> /det)
3	PT. Suparma	4,9	0,134
4	IPAM Karangpilang	4,15	4,7
5	PT. Sarimas Permai	3,8	0,01
6	PT. Asia Victory	3,5	0,285
7	PT. IKI Mutiara	3,15	0,01
8	Perusahaan Tegel Jombang	1,82	0,0005
9	CV. Bangun	1,8	0,002
10	Pabrik Tahu Purnomo	1,74	0,011
11	PT. Jayabaya Raya	1,59	0,008
12	PT. Pakabaya Raya	1,44	0,01

Sumber : DLH Prov. Jatim, PJT (2016) dalam Sumiyarsono (2018)

#### 4.4 Pemodelan Kualitas Air Sungai Kali Surabaya

##### 4.4.1 Pembangunan Model

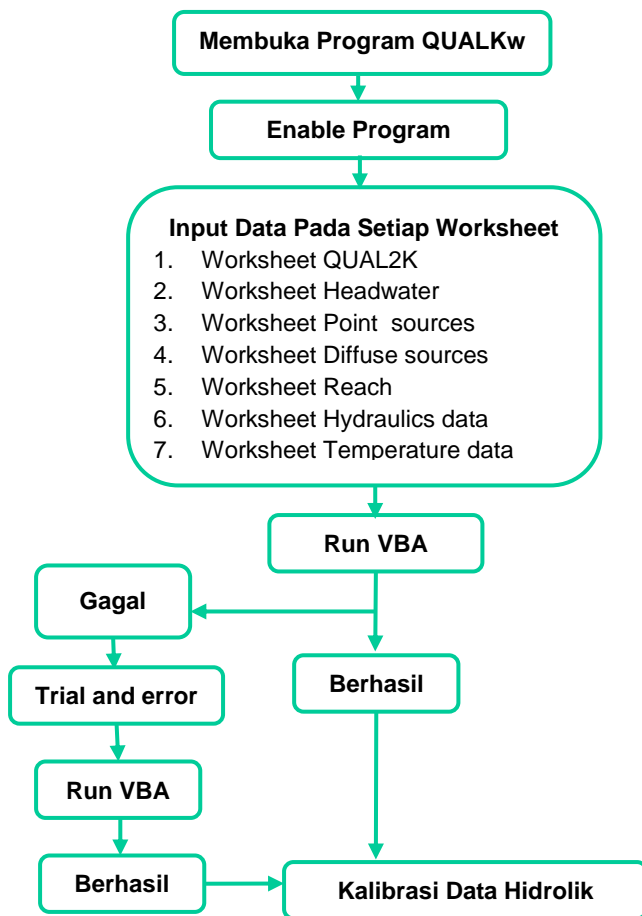
Pada penelitian ini, pembangunan model kualitas air sungai Kali Surabaya menggunakan program QUAL2Kw. Sungai dibagi menjadi 3 (tiga) segmen, lalu dilanjutkan dengan meng-*input* data pada lembar kerja (*worksheet*) QUAL2Kw. *Worksheet* QUAL2Kw mempunyai perbedaan warna yang memberikan informasi berbeda untuk masing-masing *worksheet*, yaitu :

- *Worksheet* warna biru  
Berisi informasi terkait data yang diperlukan untuk pembentukan model.
- *Worksheet* warna merah muda  
Berisi informasi terkait hasil pemodelan dalam bentuk grafis.
- *Worksheet* warna kuning  
Berisi informasi terkait data yang diperlukan untuk pembentukan model.
- *Worksheet* warna hijau  
Berisi informasi terkait data hasil dari pemodelan yang dikeluarkan oleh program QUAL2Kw.

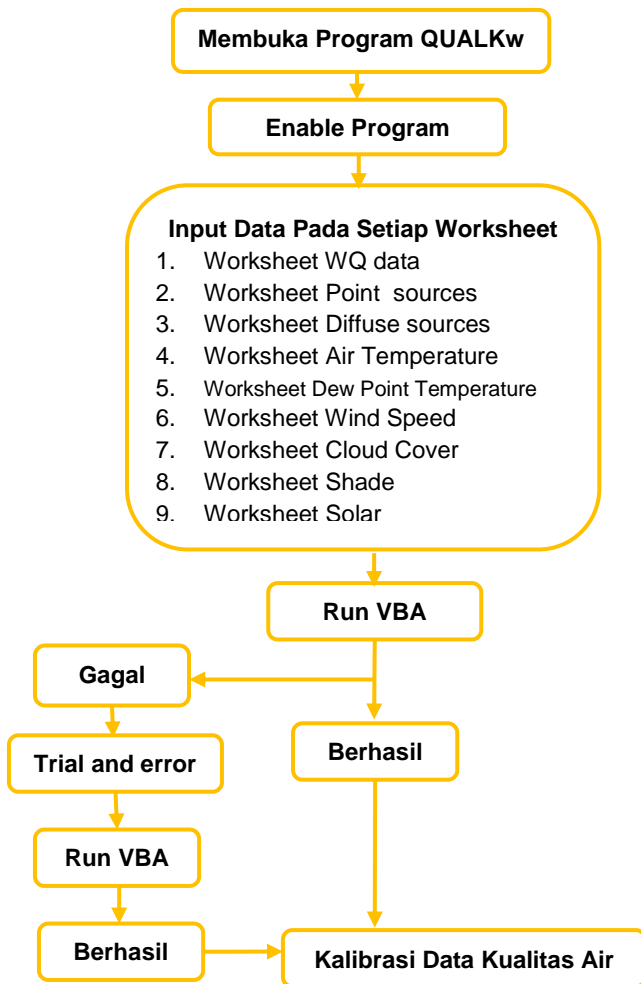
Setiap data yang dibutuhkan untuk pembentukan model di *input* pada setiap *worksheet* QUAL2Kw, lalu meng-klik tulisan “Run VBA” yang terdapat pada setiap *worksheet*. Hal ini dilakukan untuk mempermudah mendeteksi apabila terjadi *error* saat pembentukan model. Sebelum melakukan *running* (klik *RUN VBA*) pada program QUAL2Kw, pastikan *macro security* dalam kondisi *enable* untuk akses VBA. Apabila tidak maka model tidak dapat dibentuk. Model disajikan dalam bentuk data grafis untuk setiap parameter. Parameter hasil pemodelan dibagi menjadi 2 (dua) yaitu parameter hidrolis dan parameter kualitas air. Model dikatakan sudah valid apabila sudah sesuai atau mendekati data *input*. Sehingga perlu dilakukan kalibrasi model. Adapun langkah-langkah dalam menjalankan program QUAL2Kw dapat dilihat pada Gambar 4.4 dan Gambar 4.5.

Kalibrasi model pada QUAL2Kw terbagi menjadi 2 yaitu kalibrasi data hidrolis dan kalibrasi data kualitas air. Kalibrasi data hidrolis dilakukan dengan cara *trial and error* pada *worksheet reach* serta *diffuse source*. Sedangkan kalibrasi data kualitas air dilakukan dengan cara *trial and error* pada *worksheet reach rates* untuk menentukan koefisien masing-masing parameter. Caranya dengan memainkan angka *prescribed reaeration*, *Oxidation rate* pada CBOD<sub>f</sub>, dan *decay rate* pada *generic* di *worksheet* tersebut. Hasil pemodelan QUAL2Kw dan validasi model untuk parameter kualitas air sungai Kali Surabaya dapat dilihat pada Simulasi 1 (kondisi eksisting).

Pada *worksheet reach*, *trial and error* dilakukan pada kolom *manning formula* hal ini dikarenakan berpengaruh terhadap perhitungan kecepatan dan kedalaman sungai. Sedangkan *trial and error* pada *worksheet diffuse source*, dikarenakan hasil perhitungan berdasarkan estimasi jumlah penduduk yang berada di bantaran sungai Kali Surabaya belum cukup akurat. Hal tersebut disebabkan karena susah dalam menentukan titik sumber pencemar serta besar beban pencemar yang pasti masuk ke sungai Kali Surabaya. Hasil dari pemodelan dengan QUAL2Kw untuk parameter hidrolis dapat dilihat pada Gambar 4.6 sampai Gambar 4.8.

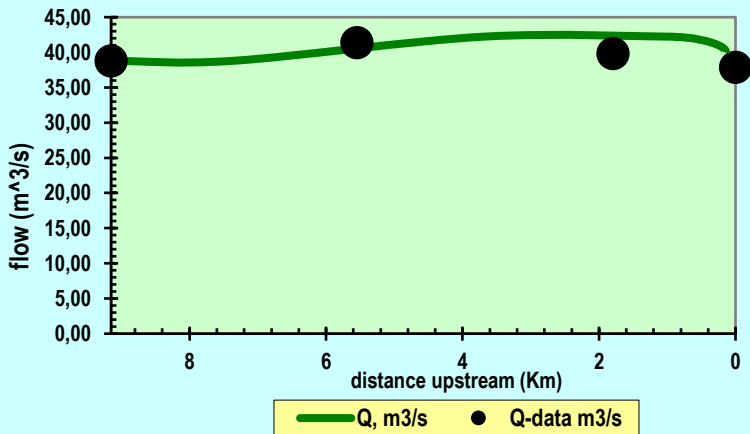


**GAMBAR 4. 4 KALIBRASI DATA HIDROLIK PROGRAM QUAL2Kw**



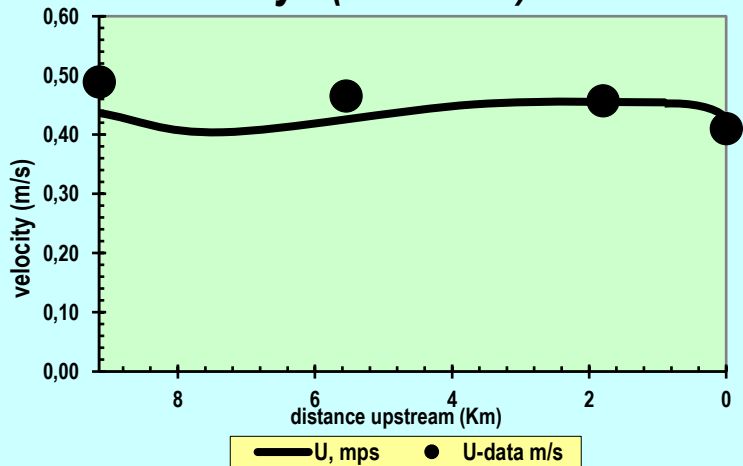
**GAMBAR 4. 5 KALIBRASI DATA KUALITAS AIR PROGRAM QUAL2Kw**

### ***Kali Surabaya (3/13/2018)***

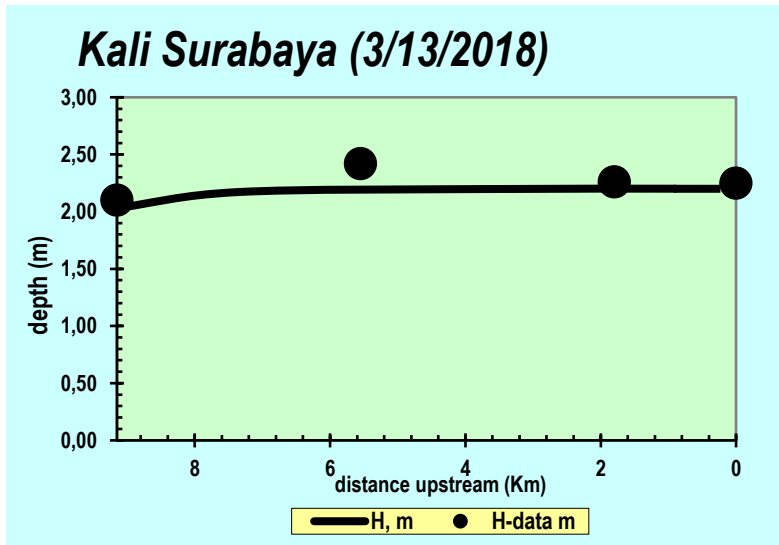


**GAMBAR 4. 6 PERBANDINGAN MODEL DENGAN DATA DEBIT**

### ***Kali Surabaya (3/13/2018)***



**GAMBAR 4. 7 PERBANDINGAN MODEL DENGAN DATA KECEPATAN**



**GAMBAR 4. 8 PERBANDINGAN MODEL DENGAN DATA KEDALAMAN**

Berdasarkan pada Gambar 4.6 hingga Gambar 4.8 dapat dilihat bahwa model sudah mendekati dengan data input (lingkaran hitam). Pada Gambar 4.6 terjadi kenaikan debit pada titik 5,5 km atau pada segmen Bambe – Karangpilang. Hal ini dikarenakan debit dari sumber pencemar baik *point sources* maupun *diffuse sources* yang masuk ke sungai Kali Surabaya lebih besar bila dibandingkan dengan segmen yang lain. Selain itu, pada Gambar 4.6 dan Gambar 4.7 dapat dilihat bahwa antara kurva debit dan kecepatan berbanding lurus. Hal ini sesuai dengan konsep perhitungan debit ( $Q$ ) yaitu,  $Q = A \cdot U$  dimana  $A$  adalah penampang basah aliran sedangkan  $U$  adalah kecepatan aliran.

Pada Gambar 4.7 dan Gambar 4.8 kurang lebih model menggambarkan sisi yang terbalik. Sebagai contoh pada jarak 9 – 5,5 km atau pada segmen Cangkir – Bambe menggambarkan kurva berbentuk lembah pada parameter kecepatan, sedangkan pada parameter kedalaman menggambarkan kurva berbentuk bukit. Hal ini dikarenakan pada persamaan manning dapat diketahui bahwa nilai kecepatan aliran ( $U$ ) berbanding terbalik dengan nilai kedalaman ( $H$ ).

$$U = \frac{1}{n} \cdot R^{2/3} \cdot S^{1/2}$$

$$n = \frac{1}{U} \cdot R^{2/3} \cdot \frac{\Delta H^{1/2}}{L}$$

Dimana :

U = Kecepatan aliran (m/detik)

R = Jari-jari hidrolik = A/P (m)

S = Slope Saluran (%)

n = Nilai koefisien manning

H = Kedalaman sungai (m)

L = Lebar sungai (m)

Setelah proses pembentukan model dan kalibrasi pada data hidrolik selesai, untuk memastikan model dapat digunakan karena sudah mendekati dengan data input maka diperlukan perhitungan validasi. Metode yang digunakan adalah *Root Mean Square Percent Error* (RMSPE) untuk mengkuantifikasi besar dan sifat error yang terjadi, dengan menggunakan rumus :

$$RMSPE = \sqrt{\frac{1}{n} \left[ \sum_{t=1}^n \left( \frac{St - At}{At} \right)^2 \right]} \times 100\%$$

Keterangan :

St : Nilai simulasi pada waktu t

At : Nilai aktual pada waktu t

n : Jumlah pengamatan (t=1,2,...,n)

Hasil perhitungan dapat dilihat pada Tabel 4.20 hingga Tabel 4.22.

**TABEL 4. 20 HASIL VALIDASI MODEL PARAMETER DEBIT**

Jarak (km)	Q Data (m <sup>3</sup> /det)	Q Model (m <sup>3</sup> /det)	X	RMSPE
9,15	38,78	38,78	0,0000	5,95%
5,55	41,365	38,8	0,0620	
1,8	39,811	42,24	0,0610	
0	37,861	42,21	0,1149	
<b>Total</b>			0,23789	

*Sumber : Hasil Perhitungan*

**TABEL 4. 21 HASIL VALIDASI MODEL PARAMETER KECEPATAN**

Jarak (km)	U Data (m <sup>2</sup> /det)	U Model (m <sup>2</sup> /det)	X	RMSPE
9,15	0,489	0,440	0,1002	8,82%
5,55	0,465	0,400	0,1398	
1,8	0,457	0,450	0,0153	
0	0,410	0,450	0,0976	
<b>Total</b>			0,3529	

*Sumber : Hasil Perhitungan*

**TABEL 4. 22 HASIL VALIDASI MODEL PARAMETER KEDALAMAN**

Jarak (km)	H Data (m)	H Model (m)	X	RMSPE
9,15	2,1	2,03	0,0333	4,64%
5,55	2,42	2,17	0,1033	
1,8	2,26	2,2	0,0265	
0	2,25	2,2	0,0222	
<b>Total</b>			0,18541	

*Sumber : Hasil Perhitungan*

Berdasarkan hasil perhitungan pada Tabel 4.21–Tabel 4.23, nilai error untuk parameter debit sebesar 5,95%, kecepatan 8,82%, dan kedalaman 4,64%. Sehingga dapat disimpulkan model dapat di terima, karena nilai error pada model dibawah 20%. Pembahasan terkait kalibrasi data kualitas air sungai akan dibahas pada sub bab selanjutnya, karena data kalibrasi model kualitas air merupakan bagian dari simulasi pada program QUAL2kw.

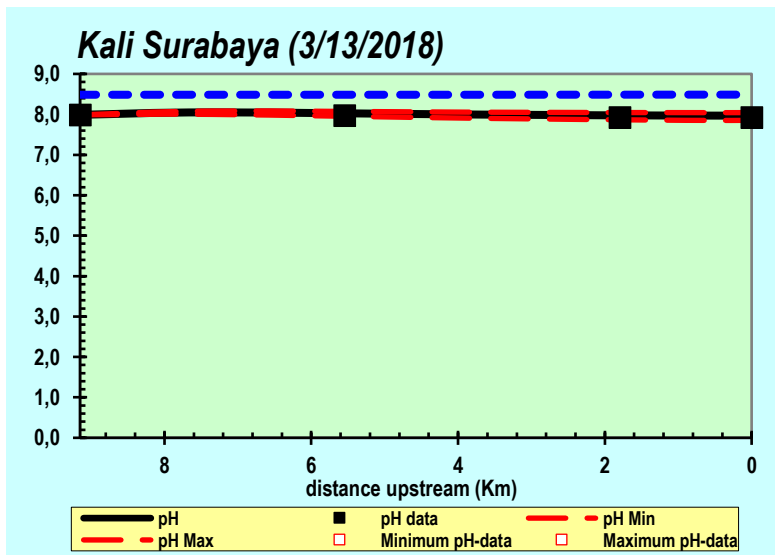
#### 4.4.2 Simulasi Kualitas Air Kali Surabaya

Simulasi merupakan proses untuk memperkirakan kualitas air sesuai dengan skenario. Parameter air yang disimulasikan antara lain pH, temperatur DO, BOD, dan COD. Terdapat 4 simulasi kualitas air pada penelitian ini, antara lain :

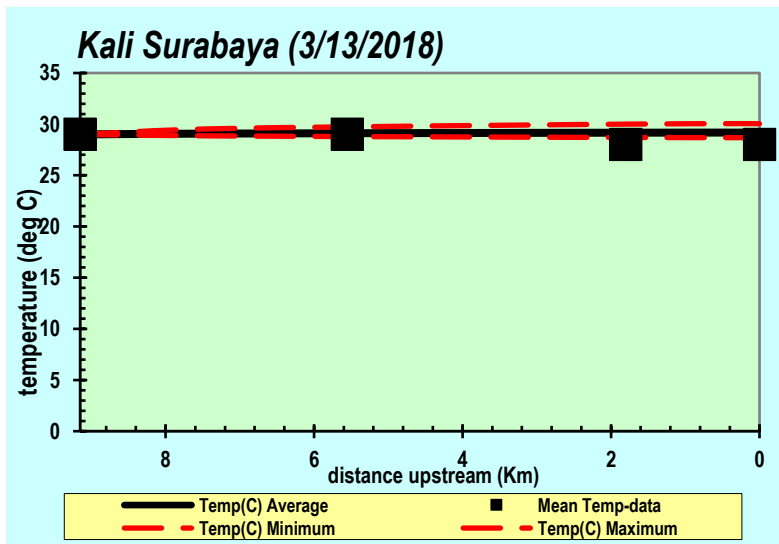


## 1. Simulasi 1

Simulasi 1 adalah simulasi kondisi sebenarnya (eksisting). Data yang digunakan adalah data debit dan kualitas air sungai Kali Surabaya yang sebenarnya berdasarkan hasil sampling (data primer). Selain itu, data klimatologi dan data sumber pencemar baik *point sources* maupun *diffuse sources* menggunakan data eksisting yang diperoleh dari instansi terkait (data sekunder). Simulasi ini bertujuan untuk menghitung beban pencemar eksisting yang masuk ke sungai Kali Surabaya. Simulasi 1 juga bertujuan untuk kalibrasi dan validasi model kualitas air sungai agar dapat digunakan untuk simulasi yang selanjutnya. Hasil pemodelan kualitas air sungai dengan QUAL2Kw dari simulasi 1 dapat dilihat pada Gambar 4.9 sampai Gambar 4.13 berikut ini.



**GAMBAR 4. 9 PERBANDINGAN MODEL DENGAN PARAMETER PH**



**GAMBAR 4. 10 PERBANDINGAN MODEL DENGAN PARAMETER SUHU**

Pada Gambar 4.9 – Gambar 4.10 dapat dilihat bahwa model sudah mendekati dengan data input (kotak hitam). Nilai pH dan temperatur sungai Kali Surabaya cenderung stabil disetiap segmen. Selanjutnya adalah melakukan validasi dengan metode *Root Mean Square Percent Error* (RMSPE). Hasil perhitungan dapat dilihat pada Tabel 4.23 dan Tabel 4.24 berikut ini.

**TABEL 4. 23 HASIL VALIDASI MODEL PARAMETER pH**

Jarak (km)	pH Data	pH Model	X	RMSPE
9,15	7,99	7,99	0,0000	0,63%
5,55	7,97	8,05	0,0100	
1,8	7,92	7,99	0,0088	
0	7,92	7,97	0,0063	
Total			0,02519	

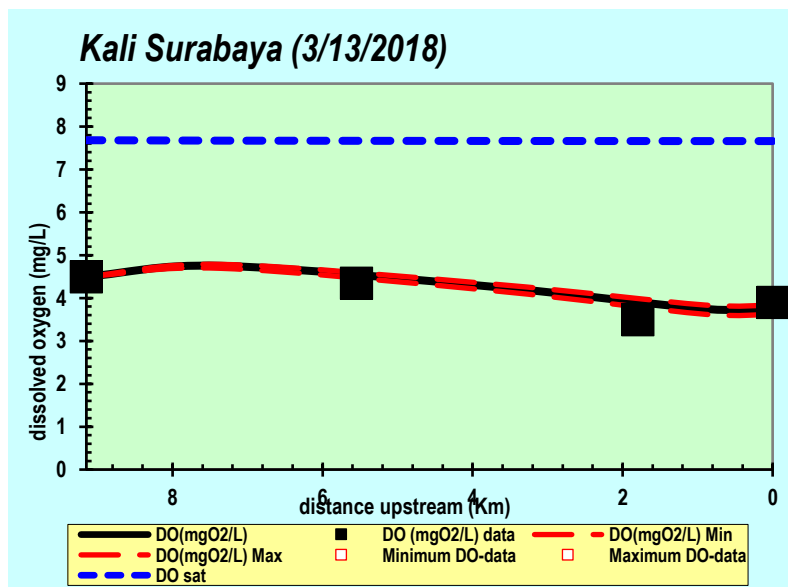
Sumber : Hasil Perhitungan

**TABEL 4. 24 HASIL VALIDASI MODEL PARAMETER TEMPERATUR**

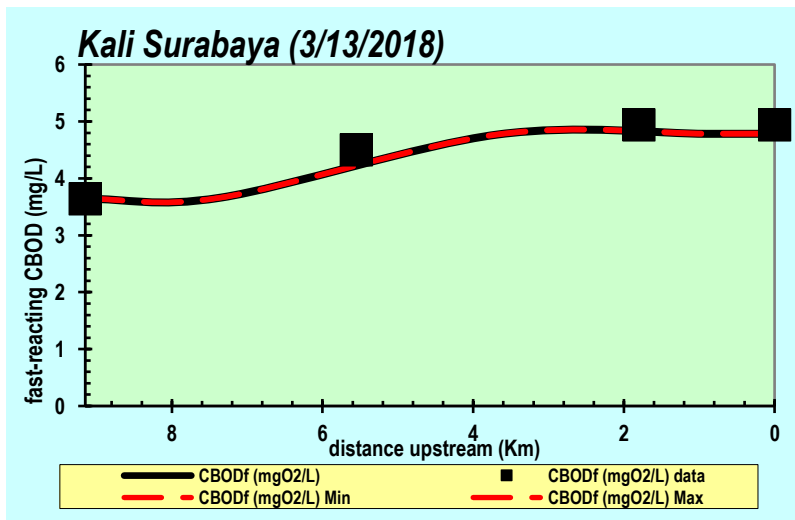
Jarak (km)	°T Data (°C)	°T Model (°C)	X	RMSPE
9,15	29	29	0,0000	
5,55	29	29,08	0,0028	
1,8	28	29,14	0,0407	2,14%
0	28	29,18	0,0421	
<b>Total</b>			0,08562	

*Sumber : Hasil Perhitungan*

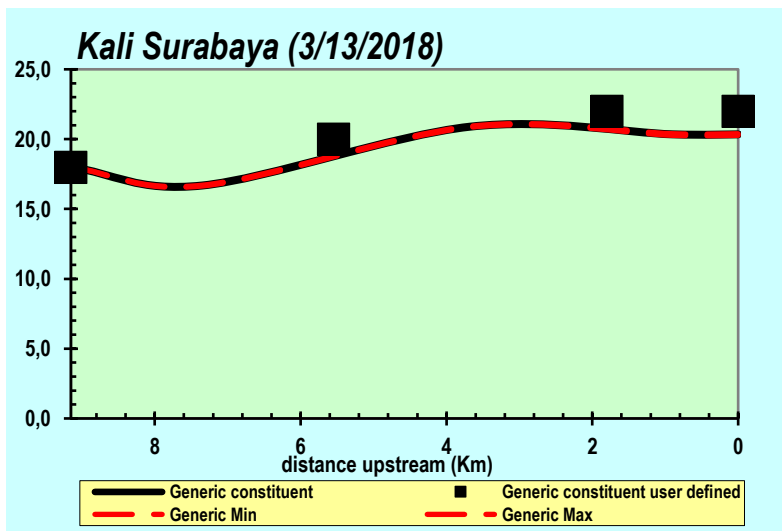
Berdasarkan hasil perhitungan pada Tabel 4.23–Tabel 4.24, nilai error untuk parameter pH sebesar 0,63% dan temperatur 2,14%. Sehingga dapat disimpulkan model dapat di terima, karena nilai error pada model dibawah 20%.



**GAMBAR 4. 11 PERBANDINGAN MODEL DENGAN PARAMETER DO**



**GAMBAR 4. 12 PERBANDINGAN MODEL DENGAN PARAMETER BOD**



**GAMBAR 4. 13 PERBANDINGAN MODEL DENGAN PARAMETER COD**

Pada Gambar 4.11 – Gambar 4.13 dapat dilihat bahwa model sudah mendekati dengan data input (kotak hitam). Terdapat perbedaan model yang terbentuk pada Gambar 4.11 dengan Gambar 4.12 dan 4.13. Dimana pada Gambar 4.11 nilai DO cenderung menurun dari hulu ke hilir. Sedangkan nilai BOD dan COD cenderung meningkat dari hulu ke hilir. Hal ini terjadi karena pada aliran sungai yang semakin mendekati hilir proses dekomposisi bahan organik dan oksidasi bahan anorganik meningkat. Proses dekomposisi dapat mengurangi kadar oksigen terlarut. Selanjutnya adalah melakukan validasi untuk setiap parameter dengan metode *Root Mean Square Percent Error* (RMSPE). Hasil perhitungan dapat dilihat pada Tabel 4.25 dan Tabel 4.27 berikut ini.

**TABEL 4. 25 HASIL VALIDASI MODEL PARAMETER DO**

Jarak (km)	DO Data (mg/L)	DO Model (mg/L)	X	RMSPE
9,15	4,5	4,5	0,0000	8,46%
5,55	4,35	4,69	0,0782	
1,8	3,5	4,15	0,1857	
0	3,9	3,61	0,0744	
<b>Total</b>			0,33823	

*Sumber : Hasil Perhitungan*

**TABEL 4. 26 HASIL VALIDASI MODEL PARAMETER BOD**

Jarak (km)	BOD Data (mg/L)	BOD Model (mg/L)	X	RMSPE
9,15	3,64	3,64	0,0000	5,21%
5,55	4,5	3,69	0,1800	
1,8	4,94	4,86	0,0162	
0	4,94	4,88	0,0121	
<b>Total</b>			0,20834	

*Sumber : Hasil Perhitungan*

**TABEL 4. 27 HASIL VALIDASI MODEL PARAMETER COD**

<b>Jarak</b> <b>(km)</b>	<b>COD Data</b> <b>(mg/L)</b>	<b>COD Model</b> <b>(mg/L)</b>	<b>X</b>	<b>RMSPE</b>
<b>9,15</b>	18	18	0,0000	6,82%
<b>5,55</b>	20	16,76	0,1620	
<b>1,8</b>	22	21,04	0,0436	
<b>0</b>	22	20,52	0,0673	
<b>Total</b>			0,27291	

*Sumber : Hasil Perhitungan*

Berdasarkan hasil perhitungan pada Tabel 4.25–Tabel 4.27, nilai error untuk parameter DO sebesar 8,46%, BOD 5,21% dan COD 6,82%. Sehingga dapat disimpulkan model dapat diterima, karena nilai error pada model dibawah 20%.

Nilai DO sungai Kali Surabaya berdasarkan data eksisting maupun data hasil pemodelan kurang dari nilai DO yang disyaratkan untuk baku mutu air kelas I yaitu 6 mg/L. Selain itu, nilai BOD dan COD sungai Kali Surabaya berdasarkan data eksisting maupun data hasil pemodelan sudah melebihi baku mutu air kelas I. Dimana nilai maksimum yang disyaratkan untuk BOD adalah 2 mg/L dan COD adalah 10 mg/L. Sehingga berdasarkan data eksisting (hasil sampling) kualitas air dapat dikatakan bahwa sungai Kali Surabaya dalam konsisi tercemar.

Pada simulasi 1 dengan kalibrasi data hidrolis dan data kualitas air sungai Kali Surabaya diperoleh nilai fitness model sebesar 0,6543. Nilai tersebut menunjukkan bahwa kesesuaian antara model dengan data input sebesar 65,43%. Sehingga, model sudah reliabel untuk dapat digunakan pada simulasi selanjutnya karena nilai fitness lebih besar dari 50%. Adapun nilai fitness hasil pemodelan dengan QUAL2Kw dapat dilihat pada Gambar 4.14.

**QUAL2Kw****Stream Water Quality Model****Kali Surabaya (3/13/2018)****Global rate parameters**Open  
FileRun  
VBARun  
FortranRun  
Auto-cal

Fitness:

0,6543

Parameter	Value	Units	Symbol	Auto-calibration inputs		
				Auto-cal	Min value	Max value
Stoichiometry:						
Carbon	40	gC	gC	No	30	50
Nitrogen	7.2	gN	gN	No	3	9
Phosphorus	1	gP	gP	No	0.4	2
Dry weight	100	gD	gD	No	100	100
Chlorophyll	1	gA	gA	No	0.4	2
Inorganic suspended solids:						
Settling velocity	0,06128	m/d	$v_i$	Yes	0	2
Oxygen:						
Reaeration model	Internal			f(u h)		
Temp correction	1,024		$\theta_e$			
Reaeration wind effect	None					
O2 for carbon oxidation	2,69	gO <sub>2</sub> /gC	$r_{oc}$			
O2 for NH4 nitrification	4,57	gO <sub>2</sub> /gN	$r_{on}$			
Oxygen inhib model CBOD oxidation	Exponential					
Oxygen inhib parameter CBOD oxidation	0,60	L/mgO2	$K_{inf}$	No	0,60	0,60
Oxygen inhib model nitrification	Exponential					

**GAMBAR 4. 14 NILAI FITNESS HASIL PEMODELAN****2. Simulasi 2**

Simulasi 2 adalah simulasi dengan sumber pencemar pada saat 5 tahun mendatang. Data yang di input pada simulasi 1 untuk *worksheet WQ Data* dan *Hydraulics Data* ditiadakan. Data kondisi kualitas air di hulu sungai menggunakan data eksisting (data primer). Data klimatologi dan data sumber pencemar *point sources* juga menggunakan data eksisting yang berasal dari instansi terkait (data sekunder). Sedangkan data sumber pencemar *diffuse sources* merupakan hasil prediksi dari proyeksi jumlah penduduk pada Tahun 2023. Simulasi ini bertujuan untuk menghitung beban pencemar yang masuk ke sungai Kali Surabaya pada Tahun 2023. Karena berdasarkan KepMenLH No. 110 /2003 disebutkan bahwa penetapan daya tampung minimal adalah 5 tahun sekali.

Berdasarkan data Badan Pusat Statistik Kota Surabaya, jumlah penduduk Kota Surabaya pada Tahun 2016 mencapai 3.016.653 jiwa. Sehingga Kota Surabaya masuk dalam kategori Kota Metro karena jumlah penduduknya diatas 1.000.000 jiwa. Konsumsi air bersih untuk domestik dengan kategori kota metro berkisar 190 L/orang/hari dan diasumsikan 80% nya akan menjadi air limbah domestik. Perhitungan selengkapnya terkait peningkatan jumlah penduduk dapat dilihat pada Tabel 4.28,

perhitungan debit air limbah domestik dapat dilihat pada Tabel 4.29. Potensi beban pencemar dari limbah domestik dapat diperkirakan dengan cara mengalikan jumlah penduduk dengan faktor emisi BOD atau COD yang dapat dilihat pada Tabel 4.30.

**TABEL 4. 28 PERHITUNGAN JUMLAH PENDUDUK TAHUN 2023**

Nama Segmen	<b>Σ Penduduk Thn. 2018</b>		<b>Σ Penduduk Thn. 2023</b>	
	Kanan	Kiri	Kanan	Kiri
<b>Cangkir - Bambe</b>	17750	10524	18311	10857
<b>Bambe - Karangpilang</b>	20105	10592	20740	10927
<b>Karangpilang - Sepanjang</b>	13400	7060	13824	7283

*Sumber : Hasil Perhitungan (2018)*

**TABEL 4. 29 PERHITUNGAN DEBIT AIR LIMBAH DOMESTIK TAHUN 2023**

Nama Segmen	<b>Jumlah Penduduk</b>	<b>Debit Air Bersih</b>	<b>Debit Air Limbah</b>	<b>Debit Air Limbah</b>
	(orang)	(L/hari)	(L/hari)	(m3/detik)
	(a)	(b) = (a) x 190 L/orang.hari	(c) = 80% x (b)	
<b>Cangkir - Bambe</b>	29168	5541862	4433490	0,051
<b>Bambe - Karangpilang</b>	31667	6016784	4813427	0,056
<b>Karangpilang - Sepanjang</b>	21107	4010275	3208220	0,037

*Sumber : Hasil Perhitungan (2018)*

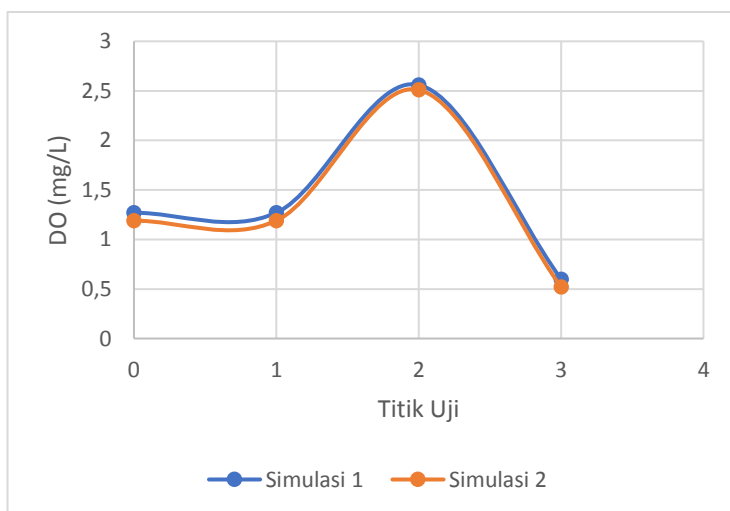


**TABEL 4. 30 PERHITUNGAN KUALITAS AIR LIMBAH DOMESTIK THN. 2023**

Nama Segmen	Jumlah Penduduk	Debit Air Limbah	BOD	COD
	(orang)	(L/hari)	(mg/L)	(mg/L)
	(a)	(b)	(c)=(a):(b)x(y)	(d)=(a):(b)x(z)
<b>Cangkir - Bambe</b>	29168	4433490	82,895	159,211
<b>Bambe - Karangpilang</b>	31667	4813427	82,895	159,211
<b>Karangpilang - Sepanjang</b>	21107	3208220	82,895	159,211

*Sumber : Hasil Perhitungan (2018)*

Setelah dilakukan running program QUAL2Kw dengan input data yang baru maka selanjutnya adalah melihat hasilnya dari *worksheet source summary*. *Worksheet* tersebut menghasilkan data kualitas sumber pencemar yang masuk ke sungai Kali Surabaya. Perbandingan kualitas sumber pencemar pada simulasi 1 dan 2 dapat dilihat pada Tabel 4.31 - Tabel 4.33 dan Gambar 4.15 – Gambar 4.17 berikut ini.

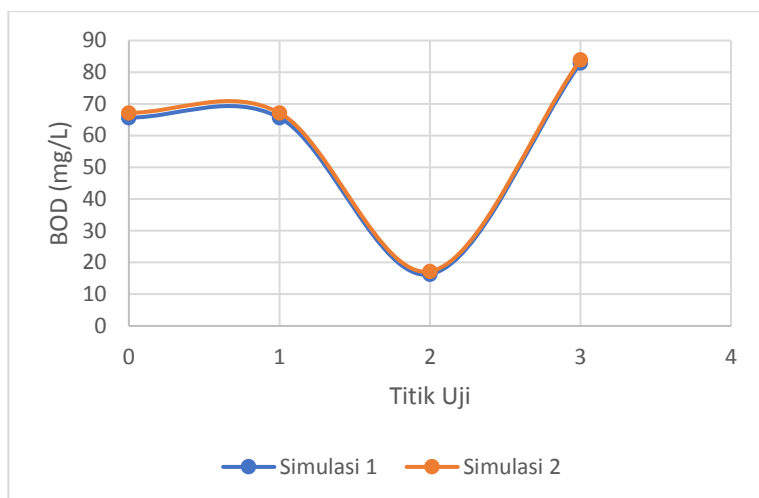


**GAMBAR 4. 15 PERBANDINGAN NILAI DO SIMULASI 1 DAN 2**

**TABEL 4. 31 PERBANDINGAN NILAI DO SIMULASI 1 DAN 2  
PADA WORKSHEET SOURCE SUMMARY**

Segmen	Nilai DO (mg/L)	
	Simulasi 1	Simulasi 2
<b>Cangkir - Bambe</b>	1,27	1,19
<b>Bambe - Karangpilang</b>	2,56	2,51
<b>Karangpilang - Sepanjang</b>	0,6	0,52

*Sumber : Hasil Pemodelan QUAL2Kw Ver 5.0*

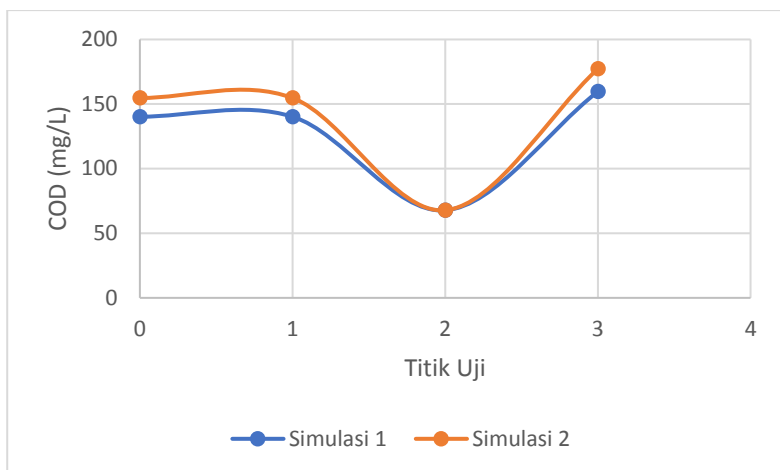


**GAMBAR 4. 16 PERBANDINGAN NILAI BOD SIMULASI 1 DAN 2**

**TABEL 4. 32 PERBANDINGAN NILAI BOD SIMULASI 1 DAN 2  
PADA WORKSHEET SOURCE SUMMARY**

Segmen	Nilai BOD (mg/L)	
	Simulasi 1	Simulasi 2
<b>Cangkir - Bambe</b>	65,68	67,19
<b>Bambe - Karangpilang</b>	16,29	17,21
<b>Karangpilang - Sepanjang</b>	82,9	83,92

*Sumber : Hasil Pemodelan QUAL2Kw Ver 5.0*



**GAMBAR 4. 17 PERBANDINGAN NILAI COD SIMULASI 1 DAN 2**

**TABEL 4. 33 PERBANDINGAN NILAI COD SIMULASI 1 DAN 2  
PADA WORKSHEET SOURCE SUMMARY**

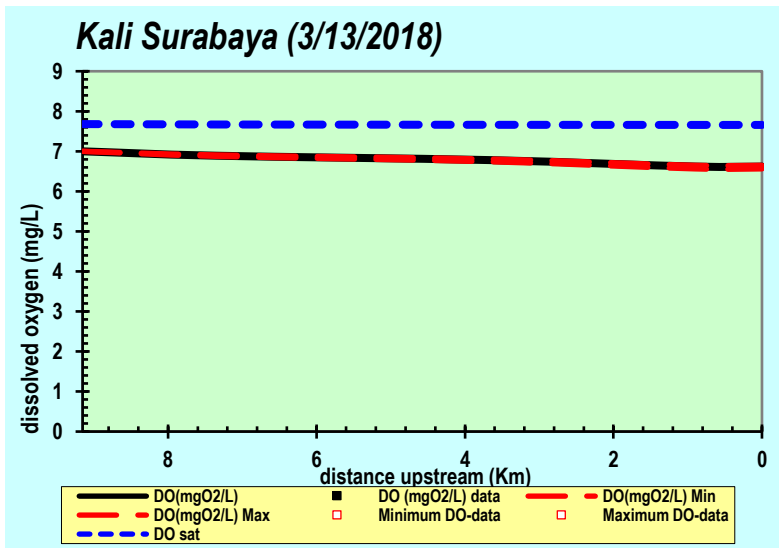
Segmen	Nilai COD (mg/L)	
	Simulasi 1	Simulasi 2
<b>Cangkir - Bambe</b>	140,2	154,69
<b>Bambe - Karangpilang</b>	67,76	67,85
<b>Karangpilang - Sepanjang</b>	159,7	177,3

*Sumber : Hasil Pemodelan QUAL2Kw Ver 5.0*

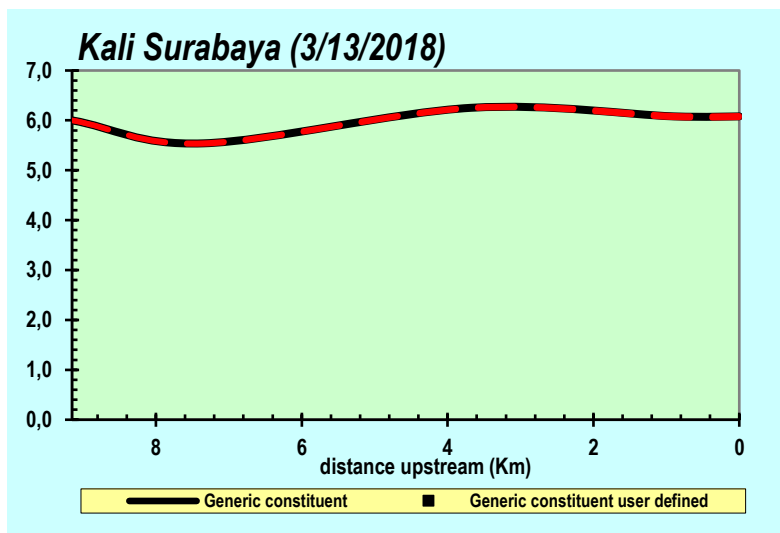
Berdasarkan Tabel 4.32 sampai Tabel 4.34 dapat dilihat bahwa ada sedikit peningkatan nilai BOD dan COD sebagai parameter sumber pencemar yang masuk ke sungai Kali Surabaya antara data eksisting (simulasi 1) dengan data prediksi tahun 2023 (simulasi 2). Sedangkan Nilai DO pada simulasi 2 sedikit mengalami penurunan dari simulasi 1. Karena besaran nilai pencemar meningkat maka proses dekomposisi juga meningkat sehingga dapat mengurangi kadar oksigen terlarut dalam sungai.

### 3. Simulasi 3

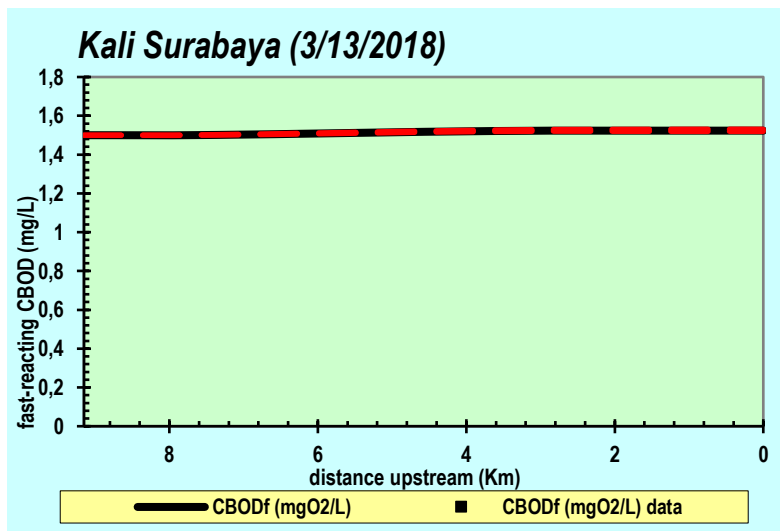
Simulasi 3 adalah simulasi tanpa sumber pencemar yang masuk ke badan air. Data kondisi kualitas air di hulu sungai dibuat memenuhi baku mutu air kelas I. Data klimatologi menggunakan data eksisting yang berasal dari instansi terkait (data sekunder). Data sumber pencemar baik *point sources* maupun *diffuse sources* dihilangkan kecuali, data sumber pencemar yang berasal dari anak sungai dibuat memenuhi baku mutu badan air kelas I. Simulasi ini bertujuan untuk mengetahui kemampuan *self-purification* sungai Kali Surabaya tanpa ada sumber pencemar yang masuk. Hasil simulasi dapat dilihat pada Gambar 4.18 – Gambar 4.20.



GAMBAR 4. 18 PROFIL DO KALI SURABAYA PADA SIMULASI 3



**GAMBAR 4. 19 PROFIL COD KALI SURABAYA PADA SIMULASI 3**



**GAMBAR 4. 20 PROFIL BOD KALI SURABAYA PADA SIMULASI 3**

Pada Gambar 4.18 model menggambarkan bahwa terjadi penurunan nilai DO walaupun tidak terlalu signifikan dari hulu ke hilir. Sedangkan nilai COD dan BOD pada model cenderung meningkat (Gambar 4.19 dan Gambar 4.20). Hal ini dikarenakan terjadinya peningkatan dekomposisi bahan organik dan oksidasi bahan anorganik sehingga mengurangi kadar oksigen terlarut. Semua parameter hasil simulasi 3 baik DO, BOD, dan COD sudah memenuhi baku mutu air kelas I sesuai dengan Peraturan Gubernur Jawa Timur No. 61 Tahun 2010. Dimana nilai DO minimum adalah 6 mg/L, nilai BOD maksimum adalah 2 mg/L, dan nilai COD maksimum 10 mg/L.

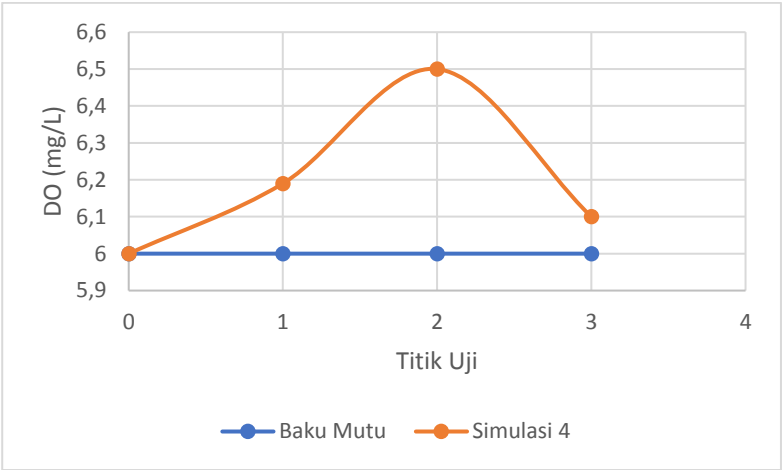
Pada simulasi 3 dapat dilihat bahwa mekanisme *self-purification* di sungai Kali Surabaya (segmen Cangkir-Sepanjang) hanya berlangsung pada zona air bersih, zona dekomposisi, dan zona biodegradasi. Sedangkan zona pemulihan tidak berlangsung karena tidak terjadi peningkatan oksigen terlarut. Adapun faktor-faktor yang mempengaruhi mekanisme *self-purification* di sungai Kali Surabaya adalah penurunan suhu dan kecepatan dari hulu ke hilir, kecilnya konsentrasi DO, dan banyaknya zat pencemar yang masuk disepanjang aliran sungai.

#### 4. Simulasi 4

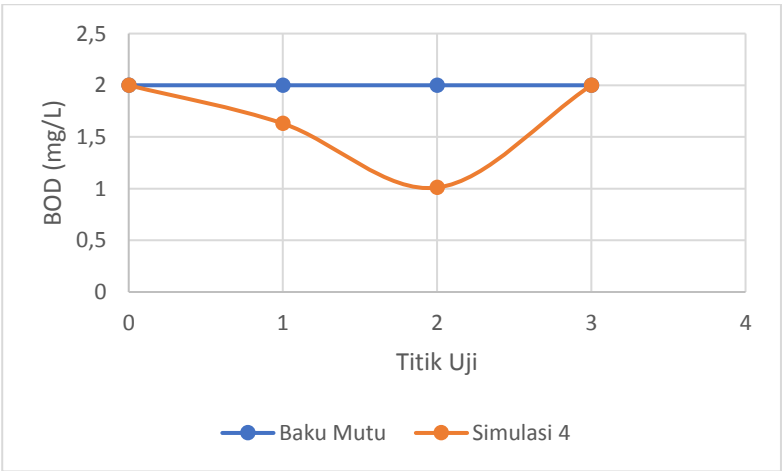
Simulasi 4 adalah simulasi yang dibuat untuk memenuhi BMA kelas I sehingga data kondisi kualitas air di hulu sungai dibuat memenuhi BMA kelas I. Data klimatologi menggunakan data eksisting yang berasal dari instansi terkait (data sekunder). Pada simulasi ini, dilakukan *trial and error* pada debit dan kualitas air sumber pencemar baik *point sources* maupun *diffuse sources*. *Trial and error* dianggap selesai apabila data kualitas air sungai dan sumber pencemar pada *worksheet output* sudah memenuhi nilai BMA kelas I. Simulasi ini bertujuan untuk mengetahui besaran beban pencemar yang diperbolehkan masuk ke sungai Kali Surabaya.

Hasil simulasi 4 pada *worksheet source summary (worksheet output)* dapat dilihat pada Gambar 4.21 – Gambar 4.23. Pada Gambar 4.21 nilai parameter DO di setiap segmen sudah memenuhi baku mutu air kelas 1, dimana nilai DO minimal yang disyaratkan adalah 6 mg/L. Nilai parameter BOD dan COD pada

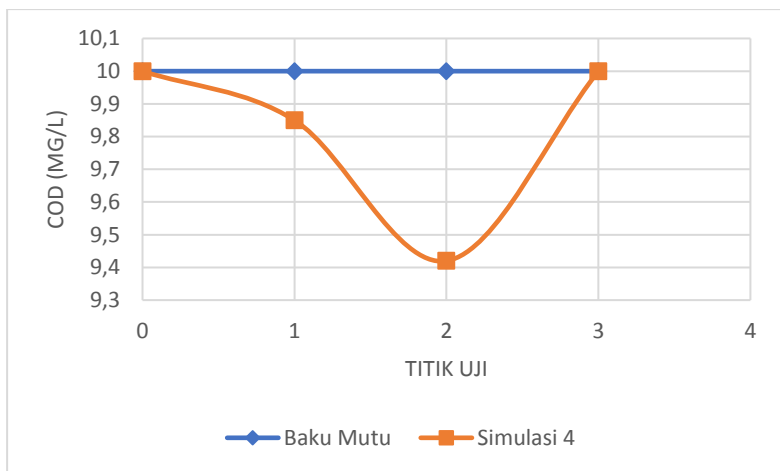
Gambar 4.22 – Gambar 4.23 juga sudah memenuhi baku mutu air kelas 1, dimana nilai BOD maksimal yang disyaratkan adalah 2 mg/L sedangkan nilai COD maksimal adalah 10 mg/L.



**GAMBAR 4. 21 PERBANDINGAN NILAI DO BAKU MUTU DENGAN MODEL**



**GAMBAR 4. 22 PERBANDINGAN NILAI BOD BAKU MUTU DENGAN MODEL**



**GAMBAR 4. 23 PERBANDINGAN NILAI COD BAKU MUTU DENGAN MODEL**

Berdasarkan Gambar 4.21 – Gambar 4.23 pada titik yang ke-2 atau pada jarak 5,5 km dapat dilihat bahwa terjadi peningkatan nilai DO terbesar dari semua segmen. Sedangkan nilai BOD dan COD mengalami penurunan nilai terkecil dari semua segmen. Hal tersebut dikarenakan proses dekomposisi bahan organik dan oksidasi bahan anorganik membutuhkan oksigen terlarut. Sehingga, apabila konsentrasi DO di sungai tinggi maka proses dekomposisi dan oksidasi akan berjalan lebih baik yang berdampak pada tingginya penurunan konsentrasi BOD dan COD di sungai.

#### **4.5 Perhitungan Beban Pencemar Kali Surabaya**

Beban pencemaran adalah jumlah suatu unsur pencemar yang terkandung dalam air atau air limbah. Pada penelitian ini, perhitungan beban pencemaran dilakukan pada setiap segmen sungai Kali Surabaya (segmen Cangkir – Sepanjang). Adapun sumber pencemar antara lain berasal dari limbah industri, fasilitas umum, domestik, dan pertanian. Adapun perhitungan beban pencemaran sungai ditentukan dengan rumus :



$$BP = \text{Debit} \left( \frac{L}{\text{detik}} \right) \times \text{Konsentrasi} \left( \frac{mg}{L} \right)$$

$$BP = \frac{\text{Beban pencemaran} \left( \frac{mg}{\text{detik}} \right) \times 86400 \left( \frac{\text{detik}}{\text{hari}} \right)}{1000000 \left( \frac{mg}{kg} \right)}$$

Perhitungan daya tampung beban pencemaran menggunakan hasil dari *worksheet output* antara lain *worksheet source summary*, *hydraulics summary*, dan *WQ output* pada program QUAL2Kw. *Worksheet* tersebut berisi data hasil pemodelan berupa debit dan kualitas air sungai maupun sumber pencemar di setiap segmen. Hasil perhitungan beban pencemar Kali Surabaya pada simulasi 1 (data eksisting) dapat dilihat pada Tabel 4.34 sedangkan simulasi 2 (prediksi Tahun 2023) dapat dilihat pada Tabel 4.35.

**TABEL 4. 34 BEBAN PENCEMAR SIMULASI 1**

Segmen	Debit (m3/det)	BOD (mg/L)	COD (mg/L)	BOD (kg/hari)	COD (kg/hari)
<b>Cangkir - Bambe</b>	38,82	3,70	16,74	12416,51	56158,96
<b>Bambe - Karangpilang</b>	46,16	5,81	24,87	23180,98	99188,31
<b>Karangpilang - Sepanjang</b>	42,22	4,87	20,37	17759,3	74316,82

Sumber : Hasil Perhitungan (2018)

**TABEL 4. 35 BEBAN PENCEMAR SIMULASI 2**

Segmen	Debit (m3/det)	BOD (mg/L)	COD (mg/L)	BOD (kg/hari)	COD (kg/hari)
<b>Cangkir - Bambe</b>	38,82	3,80	16,85	12754,35	56519,23
<b>Bambe - Karangpilang</b>	46,16	5,98	24,97	23857,53	99583,74
<b>Karangpilang - Sepanjang</b>	42,22	4,97	20,48	18124,88	74696,72

Sumber : Hasil Perhitungan (2018)

Berdasarkan Tabel Tabel 4.34 dan Tabel 4.35 dapat dilihat bahwa beban pencemar pada simulasi 2 (prediksi Tahun 2023) lebih besar bila dibandingkan dengan simulasi 1 (data eksisting). Proporsi beban pencemar yang masuk ke sungai Kali Surabaya dapat dilihat pada Tabel 4.36.

**TABEL 4. 36 PROPORSI BEBAN PENCEMAR KALI SURABAYA**

Segmen	Sumber Pencemar	Beban Pencemar (kg/hari)		Proporsi (%)	
		BOD	COD	BOD	COD
<b>Cangkir - Bambe</b>	Industri	2200,06	12623,48	17,72%	22,48%
	Fasilitas Umum	3716,57	15187,82	29,93%	27,04%
	Domestik	5210,63	22994,23	41,97%	40,94%
	Pertanian	1289,24	5353,43	10,38%	9,53%
<b>TOTAL BP</b>		<b>12416,51</b>	<b>56158,96</b>	<b>100%</b>	<b>100%</b>
<b>Bambe - Karangpilang</b>	Industri	44,57	248,84	0,19%	0,25%
	Fasilitas Umum	6185,54	24369,00	26,68%	24,57%
	Domestik	15302,42	67707,37	66,01%	68,26%
	Pertanian	1648,45	6863,09	7,11%	6,92%
<b>TOTAL BP</b>		<b>23180,98</b>	<b>99188,31</b>	<b>100%</b>	<b>100%</b>
<b>Karangpilang - Sepanjang</b>	Industri	120,53	1807,11	0,68%	2,43%
	Fasilitas Umum	8394,34	32227,86	47,27%	43,37%
	Domestik	9244,43	40281,85	52,05%	54,20%
	Pertanian	0,00	0,00	0,00%	0,00%
<b>TOTAL BP</b>		<b>17759,30</b>	<b>74316,82</b>	<b>100%</b>	<b>100%</b>

*Sumber : Hasil Perhitungan (2018)*

Berdasarkan Tabel 4.36 di setiap segmen sungai, air limbah domestik berkontribusi paling besar sebagai sumber pencemar sungai Kali Surabaya bila dibandingkan dengan sumber pencemar yang lain. Persentase sumber pencemar dari limbah domestik di setiap segmen adalah 40,94%; 68,26%; dan 54,20%.

Perhitungan besaran beban pencemar pada simulasi 3 dan simulasi 4 dapat dilihat pada Tabel 4.37 dan Tabel 4.38. Hasilnya akan digunakan untuk menentukan DTBP sungai Kali Surabaya.

**TABEL 4. 37 BEBAN PENCEMAR SIMULASI 4**

<b>Segmen</b>	<b>Debit</b> (m3/det)	<b>BOD</b> (mg/L)	<b>COD</b> (mg/L)	<b>BOD</b> (kg/hari)	<b>COD</b> (kg/hari)
<b>Cangkir - Bambe</b>	38,82	2,00	9,23	6707,457	30958,93
<b>Bambe - Karangpilang</b>	46,16	1,83	9,08	7312,689	36218,74
<b>Karangpilang - Sepanjang</b>	42,22	1,92	8,80	7003,86	32101,75

*Sumber : Hasil Perhitungan (2018)*

**TABEL 4. 38 BEBAN PENCEMAR SIMULASI 3**

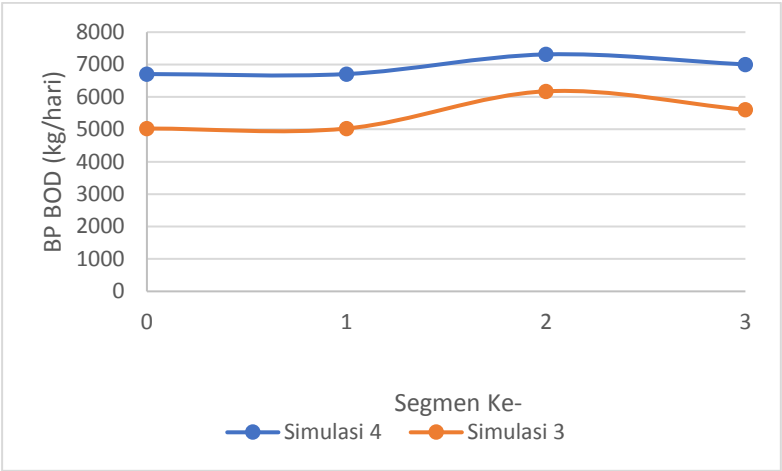
<b>Segmen</b>	<b>Debit</b> (m3/det)	<b>BOD</b> (mg/L)	<b>COD</b> (mg/L)	<b>BOD</b> (kg/hari)	<b>COD</b> (kg/hari)
<b>Cangkir - Bambe</b>	38,78	1,50	5,54	5025,888	18562,28
<b>Bambe - Karangpilang</b>	46,58	1,53	6,97	6174,541	28067,9
<b>Karangpilang - Sepanjang</b>	42,68	1,52	6,08	5605,079	22420,32

*Sumber : Hasil Perhitungan (2018)*

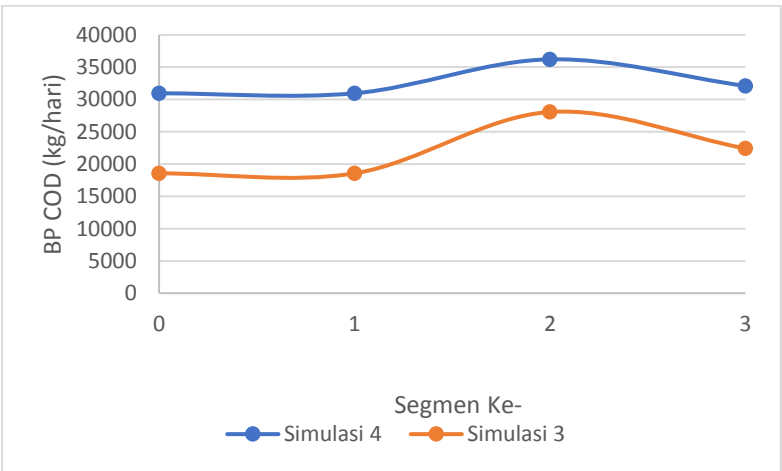
#### **4.6 Perhitungan Daya Tampung Beban Pencemaran Sungai Kali Surabaya**

Perhitungan daya tampung beban pencemaran ini berfungsi untuk mengetahui kemampuan badan air Kali Surabaya dalam menampung batas maksimum limbah yang masuk ke dalamnya. Perhitungan daya tampung diperoleh dari hasil selisih nilai beban pencemar pada simulasi 4 dan 3. Simulasi 4 adalah kondisi dimana beban pencemar maksimum atau kondisi beban pencemar yang diperbolehkan masuk ke sungai Kali Surabaya tanpa menyebabkan tercemar. Sedangkan simulasi 3 merupakan

kondisi awal sungai tanpa ada beban pencemar yang masuk. Hasil perhitungan daya tampung beban pencemar sungai Kali Surabaya dapat dilihat pada Gambar 4.24 - Gambar 4.25 dan Tabel 4.39.



**GAMBAR 4. 24 DTBP PARAMETER BOD**



**GAMBAR 4. 25 DTBP PARAMETER COD**

**TABEL 4. 39 DAYA TAMPUNG BEBAN PENCEMAR KALI SURABAYA**

Segmen	Lokasi (km)	BOD (kg/hari)	COD (kg/hari)
<b>Cangkir - Bambe</b>	9,15 - 5,5	1681,57	12396,65
<b>Bambe - Karangpilang</b>	5,5 - 1,8	1138,15	8150,84
<b>Karangpilang - Sepanjang</b>	1,8 - 0,0	1398,78	9681,43

*Sumber : Hasil Perhitungan (2018)*

Berdasarkan Tabel 4.39 daya tampung beban pencemar sungai Kali Surabaya paling besar berada pada segmen Cangkir – Bambe dengan nilai DTBP untuk parameter BOD adalah 1681,57 kg/hari dan parameter COD adalah 12396,65 kg/hari.

Dalam PP RI No. 82 Tahun 2001 daya tampung beban pencemaran air adalah kemampuan air pada suatu sumber air untuk menerima masukan beban pencemaran tanpa mengakibatkan air tersebut menjadi cemar. Sehingga, nilai beban pencemar pada simulasi 1 dan 2 tidak boleh melebihi daya tampung beban pencemar sungai Kali Surabaya yang sudah ditetapkan. Apabila nilai beban pencemar yang masuk melebihi daya tampungnya maka dapat dikatakan bahawa obyek (Kali Surabaya) sudah tidak mampu menerima beban pencemar. Hasil selengkapnya dapat dilihat pada Tabel 4.40 dan Tabel 4.41.

**TABEL 4. 40 PERBANDINGAN DAYA TAMPUNG TERHADAP BEBAN PENCEMAR EKSISTING (SIMULASI 1) YANG MASUK**

Segmen	DT BOD (kg/hari)	BP BOD Simulasi 1 (kg/hari)	DT COD (kg/hari)	BP COD Simulasi 1 (kg/hari)
<b>Cangkir - Bambe</b>	1681,57	12416,51	12396,65	56158,96
<b>Bambe - Karangpilang</b>	1138,15	23180,98	8150,84	99188,31
<b>Karangpilang - Sepanjang</b>	1398,78	17759,30	9681,43	74316,82

*Sumber : Hasil Analisa (2018)*

**TABEL 4. 41 PERBANDINGAN DAYA TAMPUNG TERHADAP BEBAN  
PENCEMAR PREDIKSI THN. 2023 (SIMULASI 2) YANG MASUK**

Segmen	DT BOD	BP BOD Simulasi 2	DT COD	BP COD Simulasi 2
	(kg/hari)	(kg/hari)	(kg/hari)	(kg/hari)
<b>Cangkir - Bambe</b>	1681,57	12754,35	12396,65	56519,23
<b>Bambe - Karangpilang</b>	1138,15	23857,53	8150,84	99583,74
<b>Karangpilang - Sepanjang</b>	1398,78	18124,88	9681,43	74696,72

*Sumber : Hasil Analisa (2018)*

Berdasarkan Tabel 4.40 dan Tabel 4.41 dapat diketahui bahwa nilai beban pencemar BOD dan COD pada simulasi 1 dan 2 telah melebihi nilai daya tampungnya. Sehingga, perlu adanya upaya untuk menurunkan beban pencemar yang masuk ke sungai Kali Surabaya. Salah satu cara yang dapat dilakukan adalah mengoptimasi limpasan air limbah yang masuk ke sungai.

#### **4.7 Optimasi Limpasan Air Limbah dengan Program Dinamik (*Multistage Programming*)**

Optimasi limpasan air limbah ke sungai Kali Surabaya dilakukan dengan metode program dinamik. Metode ini mempertimbangkan faktor-faktor yang mungkin terjadi. Proses optimasi dilakukan secara bertahap dengan membuat diagram alir. Setiap tahapan saling berkaitan dan mempunyai fungsi yang berbeda. Adapun tahapan tersebut antara lain :

- **Tahap A**

Merupakan tahap penentuan batasan dan konstanta penguraian zat organik di Sungai. Pada tahap ini terdapat dua variabel yaitu baku mutu dan debit sungai. Baku mutu sungai meliputi BMA kelas I, II, dan III. Baku mutu tersebut dipilih karena kualitas air sungai Kali Surabaya melebihi BMA kelas III. Sehingga perlu dilakukan upaya secara bertahap untuk memenuhi BMA dari kelas III sampai BMA kelas I.

- **Tahap B**

Merupakan tahap penentuan konsentrasi pencemar (BOD) yang boleh dibuang ke sungai Kali Surabaya pada saat debit minimum dengan DO (minimum, rata-rata, dan maksimum), saat debit rata-rata dengan (DO minimum, rata-rata, dan maksimum), dan saat debit maksimum dengan (DO minimum, rata-rata, dan maksimum). Masing-masing tahapan (Tahap A dan B) dilakukan guna memenuhi baku mutu air sesuai dengan kelasnya.

Perhitungan optimasi limpasan air limbah menggunakan data sekunder terkait kualitas air Sungai Kali Surabaya yang diperoleh melalui Perum Jasa Tirta (PJT) I. Data parameter kualitas air sungai antara lain pH, suhu, BOD, COD, dan DO. Data parameter kualitas air tersebut disajikan pada saat kondisi minimum, rata-rata, dan maksimum yang dapat dilihat pada Tabel 4.42 berikut ini.

**TABEL 4. 42 DATA SEKUNDER KUALITAS AIR KALI SURABAYA  
TAHUN 2016-2017**

No.	Lokasi Titik Sampling	Ket.	pH	Suhu (°C)	BOD (mg/L)	COD (mg/L)	DO (mg/L)
1	Cangkir	Max	7,73	32,5	12,82	59,14	5,7
		Rata-rata	7,13	29,33	4,82	21,25	4,46
		Min	6,43	25,2	1,88	7,21	3,2
2	Bambe	Max	7,88	32,2	14,76	55,58	5,5
		Rata-rata	7,21	29,96	5,58	24,2	4,43
		Min	6,76	27,6	2,35	8,16	2,4
3	Karangpilang	Max	7,84	32,9	17,37	68,79	5,5
		Rata-rata	7,11	29,42	5,69	24,81	4,21
		Min	6,06	27,1	2,22	9,25	1,3
4	Sepanjang	Max	7,82	32,50	9,62	47,12	5,50
		Rata-rata	7,18	29,98	5,2	23,76	4,28
		Min	6,59	27,2	1,99	9,85	3,2

Sumber : Perum Jasa Tirta (2018)

Berdasarkan data pada Tabel 4.42 dapat dilihat bahwa kualitas air Sungai Kali Surabaya disetiap segmen baik pada saat kondisi maksimum, rata-rata, dan minimum melebihi baku mutu air sungai Kelas I pada PP 82 Tahun 2001 dan Peraturan Gubernur Jawa Timur No. 61 Tahun 2010. Dimana nilai BOD maksimum sungai Kelas I adalah 2 mg/L dan nilai COD maksimum adalah 10 mg/L. Sedangkan nilai DO minimal sungai Kelas I adalah 6 mg/L.

#### 4.7.1 Perhitungan Optimasi Limpasan Air Limbah Segmen Cangkir – Bambe

Data kualitas air sungai Kali Surabaya yang digunakan dalam contoh perhitungan pada saat kondisi suhu, kecepatan, dan debit maksimum serta nilai DO pada saat maksimum.

##### Tahap A

- Menentukan Nilai DO jenuh

°T rata-rata adalah 32,5°C

$$\begin{aligned} \text{DO sat} &= 14,652 - 0,41022T + 0,0079910T^2 - 0,000077774T^3 \\ &= 14,652 - 0,41022 (32,5) + 0,0079910 (32,5)^2 - 0,000077774 (32,5)^3 \\ &= 7,09 \text{ mg/L} \end{aligned}$$

- Mengoreksi laju reaksi terhadap temperatur 32,5°C

Berdasarkan Tabel 2.2  $K_1 (20^\circ\text{C}) = 0,5/\text{hari}$

$$\begin{aligned} K_1(32,5^\circ\text{C}) &= K_1 (20^\circ\text{C}) \times 1,047^{(32,5-20)} \\ &= 0,5 \times 1,047^{12,5} \\ &= 0,888 / \text{hari} \end{aligned}$$

$K_2$  dihitung berdasarakan persamaan O'connor dan Dobbins

$$\begin{aligned} D_{LT} &= 1,760 \times 10^{-4} \text{ m}^2/\text{hari} \times 1,037^{(T-20)} \\ &= 1,760 \times 10^{-4} \text{ m}^2/\text{hari} \times 1,037^{(32,5-20)} \\ &= 2,77 \times 10^{-4} \text{ m}^2/\text{hari} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} K_2 (20^\circ\text{C}) &= \frac{294 \times (D_{LT} \cdot U)^{1/2}}{H^{3/2}} \\ &= \frac{294 \times (2,77 \times 10^{-4} \times 0,512)^{1/2}}{2,10^{3/2}} \\ &= 1,15/\text{hari} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} K_2(32,5^\circ\text{C}) &= K_2 (20^\circ\text{C}) \times 1,016^{(32,5-20)} \\ &= 1,15 \times 1,016^{12,5} \\ &= 1,403/\text{hari} \end{aligned}$$



## Tahap B

Menentukan beban BOD maksimum yang boleh dibuang ke sungai untuk memenuhi BMA Kelas III

- $D_{all} = DO \text{ jenuh} - DO \text{ baku mutu}$   
 $= (7,09 - 3) \text{ mg/L}$   
 $= 4,09 \text{ mg/L}$
- $D_a = DO \text{ jenuh} - DO \text{ sungai}$   
 $= (7,09 - 5,7) \text{ mg/L}$   
 $= 1,39 \text{ mg/L}$
- $\text{Log } L_o = \text{Log } D_{all} + \left[ 1 + \frac{K_1}{K_2 - K_1} \left( 1 - \frac{D_a}{D_{all}} \right)^{0,418} \right] \log \frac{K_2}{K_1}$   
 $= \text{Log } 4,09 + \left[ 1 + \frac{0,888}{1,403 - 0,888} \left( 1 - \frac{1,39}{4,09} \right)^{0,418} \right] \log \frac{1,403}{0,888}$   
 $L_o = 12,545 \text{ mg/L}$
- Beban BOD maksimum di sungai  
 $L_t = L_o (1 - e^{(-K_1 \cdot 5)})$   
 $= L_o (1 - e^{(-0,888 \cdot 5)})$   
 $= 12,398 \text{ mg/L}$
- Nilai BOD limbah yang diizinkan untuk dibuang ke sungai  
$$L_t = \frac{(Q_{limbah} \cdot X) + (Q_{sungai} \cdot BOD \text{ sungai yg diizinkan})}{Q_{limbah} + Q_{sungai}}$$
  
$$12,398 = \frac{(0,63 \cdot x) + (22,87 \cdot 6)}{0,63 + 22,87}$$
  
$$X = 280,947 \text{ mg/L}$$

Berdasarkan hasil perhitungan diatas agar kualitas air Sungai Kali Surabaya sesuai dengan baku mutu air kelas III maka, konsentrasi BOD limbah yang boleh dibuang ke sungai pada saat debit sungai maksimum dan nilai DO sungai maksimum adalah 280,947 mg/L. Perhitungan selengkapnya untuk segmen Cangkir – Bambe dapat dilihat pada Tabel 4.43.

**TABEL 4. 43 BOD MAKSIMUM YANG BOLEH DIBUANG KE KALI  
SURABAYA SEGMENT CANGKIR-BAMBE**

DO Baku Mutu		Debit Sungai		DO		Lt	X
Kategori	(mg/L)	Kategori	(m3/detik)	Kategori	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)
Kelas III	3	Max	40,182	Max	5,7	12,40	280,95
				Rata2	4,46	11,78	257,84
				Min	3,2	10,31	203,23
		Rata2	21,932	Max	5,7	12,30	266,39
				Rata2	4,46	11,67	243,88
				Min	3,2	10,20	191,23
	4	Min	19,867	Max	5,7	12,10	235,87
				Rata2	4,46	11,45	214,81
				Min	3,2	9,97	166,57
		Max	40,182	Max	5,7	8,92	223,91
				Rata2	4,46	7,89	185,32
				Min	3,2	8,02	190,39
Kelas II	4	Rata2	21,932	Max	5,7	8,85	212,44
				Rata2	4,46	7,81	175,17
				Min	3,2	7,93	179,66
		Min	19,867	Max	5,7	8,70	188,33
				Rata2	4,46	7,64	154,05
				Min	3,2	7,75	157,44
	6	Max	40,182	Max	5,7	7,17	194,74
				Rata2	4,46	6,10	155,11
				Min	3,2	6,42	166,81
		Rata2	21,932	Max	5,7	7,11	184,85
				Rata2	4,46	6,04	146,62
				Min	3,2	6,34	157,49
Kelas I	6	Min	19,867	Max	5,7	6,98	164,01
				Rata2	4,46	5,90	128,96
				Min	3,2	6,18	138,15

Sumber : Hasil Perhitungan (2018)

#### 4.7.2 Perhitungan Optimasi Limpasan Air Limbah Segmen Bambi – Karangpilang

Data kualitas air sungai Kali Surabaya yang digunakan dalam contoh perhitungan pada saat kondisi suhu, kecepatan, dan debit maksimum serta nilai DO pada saat maksimum.

##### Tahap A

- Menentukan Nilai DO jenuh

$T$  rata-rata adalah  $32,2^{\circ}\text{C}$

$$\begin{aligned}\text{DO sat} &= 14,652 - 0,41022T + 0,0079910T^2 - 0,000077774T^3 \\ &= 14,652 - 0,41022 (32,2) + 0,0079910 (32,2)^2 - \\ &\quad 0,000077774 (32,2)^3 \\ &= 7,132 \text{ mg/L}\end{aligned}$$

- Mengoreksi laju reaksi terhadap temperatur  $32,2^{\circ}\text{C}$

Berdasarkan Tabel 2.2  $K_1 (20^{\circ}\text{C}) = 0,5/\text{hari}$

$$\begin{aligned}K_1(32,2^{\circ}\text{C}) &= K_1 (20^{\circ}\text{C}) \times 1,047^{(T-20)} \\ &= 0,5 \times 1,047^{12,2} \\ &= 0,875 / \text{hari}\end{aligned}$$

$K_2$  dihitung berdasarkan persamaan O'Connor dan Dobbins

$$\begin{aligned}D_{LT} &= 1,760 \times 10^{-4} \text{ m}^2/\text{hari} \times 1,037^{(T-20)} \\ &= 1,760 \times 10^{-4} \text{ m}^2/\text{hari} \times 1,037^{(32,2-20)} \\ &= 2,32 \times 10^{-4} \text{ m}^2/\text{hari}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}K_2 (20^{\circ}\text{C}) &= \frac{294 \times (D_{LT} \cdot U)^{1/2}}{H^{3/2}} \\ &= \frac{294 \times (2,32 \times 10^{-4} \times 0,484)^{1/2}}{2,42^{3/2}} \\ &= 0,899/\text{hari}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}K_2(32,2^{\circ}\text{C}) &= K_2 (20^{\circ}\text{C}) \times 1,016^{(32,2-20)} \\ &= 0,899 \times 1,016^{12,2} \\ &= 1,092/\text{hari}\end{aligned}$$

##### Tahap B

Menentukan beban BOD maksimum yang boleh dibuang ke sungai untuk memenuhi BMA Kelas III

- $D_{all} = \text{DO jenuh} - \text{DO baku mutu}$   
 $= (7,132 - 3) \text{ mg/L}$   
 $= 4,132 \text{ mg/L}$
- $D_a = \text{DO jenuh} - \text{DO sungai}$   
 $= (7,132 - 5,5) \text{ mg/L}$   
 $= 1,632 \text{ mg/L}$

- $$\text{Log } L_o = \text{Log } D_{all} + \left[ 1 + \frac{K_1}{K_2 - K_1} \left( 1 - \frac{D_a}{D_{all}} \right)^{0,418} \right] \log \frac{K_2}{K_1}$$

$$= \text{Log } 4,132 + \left[ 1 + \frac{0,875}{0,899 - 0,875} \left( 1 - \frac{1,632}{4,132} \right)^{0,418} \right] \log \frac{0,899}{0,875}$$

$$L_o = 10,632 \text{ mg/L}$$
- Beban BOD maksimum di sungai

$$L_t = L_o (1 - e^{(-K_1 \cdot 5)})$$

$$= L_o (1 - e^{(-0,875 \cdot 5)})$$

$$= 10,499 \text{ mg/L}$$
- Nilai BOD limbah yang diizinkan untuk dibuang ke sungai

$$L_t = \frac{(Q_{limbah} \cdot X) + (Q_{sungai} \cdot BOD \text{ sungai yg diizinkan})}{Q_{limbah} + Q_{sungai}}$$

$$10,499 = \frac{(1,29 \cdot x) + (67,706 \cdot 6)}{1,29 + 67,706}$$

$$X = 299,126 \text{ mg/L}$$

Berdasarkan hasil perhitungan diatas agar kualitas air Sungai Kali Surabaya sesuai dengan baku mutu air kelas III maka, konsentrasi BOD limbah yang boleh dibuang ke sungai pada saat debit sungai maksimum dan nilai DO sungai maksimum adalah 299,126 mg/L. Perhitungan selengkapnya untuk segmen Bambe – Karangpilang dapat dilihat pada Tabel 4.44.

**TABEL 4. 44 BOD MAKSIMUM YANG BOLEH DIBUANG KE KALI SURABAYA SEGMENT BAMBE-KARANGPILANG**

DO Baku Mutu		Debit Sungai		DO		Lt	X
Kategori	(mg/L)	Kategori	(m3/detik)	Kategori	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)
Kelas III	3	Max	67,706	Max	5,5	10,50	299,13
				Rata2	4,43	9,66	254,31
				Min	2,4	8,04	167,46
		Rata2	56,049	Max	5,5	10,39	244,76
				Rata2	4,43	9,55	207,26
				Min	2,4	7,93	135,10
		Min	22,473	Max	5,5	10,18	199,84
				Rata2	4,43	9,32	167,68
				Min	2,4	7,70	106,62

DO Baku Mutu		Debit Sungai		DO		Lt	X
Kategori	(mg/L)	Kategori	(m3/detik)	Kategori	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)
Kelas II	4	Max	67,706	Max	5,5	7,44	196,82
				Rata2	4,43	6,26	144,20
				Min	2,4	5,85	126,00
		Rata2	56,049	Max	5,5	7,36	196,82
				Rata2	4,43	6,18	144,20
				Min	2,4	5,77	126,00
		Min	22,473	Max	5,5	7,20	161,00
				Rata2	4,43	6,01	116,28
				Min	2,4	5,59	100,62
		Max	67,706	Max	5,5	5,66	197,65
				Rata2	4,43	4,77	149,94
				Min	2,4	4,88	156,21
Kelas I	6	Rata2	56,049	Max	5,5	5,59	161,72
				Rata2	4,43	4,70	121,99
				Min	2,4	4,81	126,95
		Min	22,473	Max	5,5	5,46	132,23
				Rata2	4,43	4,56	98,47
				Min	2,4	4,66	102,22

Sumber : Hasil Perhitungan (2018)

#### 4.7.3 Perhitungan Optimasi Limpasan Air Limbah Segmen Karangpilang – Sepanjang

Data kualitas air sungai Kali Surabaya yang digunakan dalam contoh perhitungan pada saat kondisi suhu, kecepatan, dan debit maksimum serta nilai DO pada saat maksimum.

##### Tahap A

- Menentukan Nilai DO jenuh

<sup>o</sup>T rata-rata adalah 32,9°C

$$\begin{aligned}
 \text{DO sat} &= 14,652 - 0,41022T + 0,0079910T^2 - 0,000077774T^3 \\
 &= 14,652 - 0,41022 (32,9) + 0,0079910 (32,9)^2 - 0,000077774 (32,9)^3
 \end{aligned}$$

$$= 7,035 \text{ mg/L}$$

- Mengoreksi laju reaksi terhadap temperatur 32,9°C  
Berdasarkan Tabel 2.2  $K_1 (20^\circ\text{C}) = 0,5/\text{hari}$

$$\begin{aligned} K_1(32,9^\circ\text{C}) &= K_1 (20^\circ\text{C}) \times 1,047^{(T-20)} \\ &= 0,5 \times 1,047^{12,9} \\ &= 0,904 / \text{hari} \end{aligned}$$

$K_2$  dihitung berdasarkan persamaan O'Connor dan Dobbins

$$\begin{aligned} D_{LT} &= 1,760 \times 10^{-4} \text{ m}^2/\text{hari} \times 1,037^{(T-20)} \\ &= 1,760 \times 10^{-4} \text{ m}^2/\text{hari} \times 1,037^{(32,9-20)} \\ &= 2,81 \times 10^{-4} \text{ m}^2/\text{hari} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} K_2 (20^\circ\text{C}) &= \frac{294 \times (D_{LT} \cdot U)^{1/2}}{H^{3/2}} \\ &= \frac{294 \times (2,81 \times 10^{-4} \times 0,451)^{1/2}}{2,26^{3/2}} \\ &= 0,974/\text{hari} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} K_2(32,9^\circ\text{C}) &= K_2 (20^\circ\text{C}) \times 1,016^{(32,9-20)} \\ &= 0,974 \times 1,016^{12,9} \\ &= 1,195/\text{hari} \end{aligned}$$

## Tahap B

Menentukan beban BOD maksimum yang boleh dibuang ke sungai untuk memenuhi BMA Kelas III

- $D_{all} = DO \text{ jenuh} - DO \text{ baku mutu}$   
 $= (7,035 - 3) \text{ mg/L}$   
 $= 4,035 \text{ mg/L}$
- $D_a = DO \text{ jenuh} - DO \text{ sungai}$   
 $= (7,035 - 5,5) \text{ mg/L}$   
 $= 1,535 \text{ mg/L}$
- $\text{Log } L_o = \text{Log } D_{all} + \left[1 + \frac{K_1}{K_2 - K_1} \left(1 - \frac{D_a}{D_{all}}\right)^{0,418}\right] \text{log } \frac{K_2}{K_1}$   
 $= \text{Log } 4,035 + \left[1 + \frac{0,904}{0,974 - 0,904} \left(1 - \frac{1,535}{4,035}\right)^{0,418}\right] \text{log } \frac{0,974}{0,904}$   
 $L_o = 10,85 \text{ mg/L}$
- Beban BOD maksimum di sungai  
 $L_t = L_o (1 - e^{(-K_1 \cdot 5)})$   
 $= L_o (1 - e^{(-0,904 \cdot 5)})$   
 $= 10,732 \text{ mg/L}$

- Nilai BOD limbah yang diizinkan untuk dibuang ke sungai

$$Lt = \frac{(Q_{limbah} \cdot X) + (Q_{sungai} \cdot BOD_{sungai \text{ yg diizinkan}})}{Q_{limbah} + Q_{sungai}}$$

$$10,732 = \frac{(0,98 \cdot x) + (46,361 \cdot 6)}{0,98 + 46,361}$$

$$X = 281,918 \text{ mg/L}$$

Berdasarkan hasil perhitungan diatas agar kualitas air Sungai Kali Surabaya sesuai dengan baku mutu air kelas III maka, konsentrasi BOD limbah yang boleh dibuang ke sungai pada saat debit sungai maksimum dan nilai DO sungai maksimum adalah 299,126 mg/L. Perhitungan selengkapnya untuk segmen Karangpilang – Sepanjang dapat dilihat pada Tabel 4.45.

**TABEL 4. 45 BOD MAKSIMUM YANG BOLEH DIBUANG KE KALI SURABAYA SEGMENT KARANGPILANG-SEPANJANG**

DO Baku Mutu		Debit Sungai		DO		Lt	X
Kategori	(mg/L)	Kategori	(m3/detik)	Kategori	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)
Kelas III	3	Max	47,524	Max	5,5	10,73	281,92
				Rata2	4,21	9,94	243,73
				Min	3,2	8,31	164,80
				Max	5,5	10,71	233,73
				Rata2	4,21	9,92	202,00
				Min	3,2	8,29	136,58
		Min	21,519	Max	5,5	10,67	190,58
				Rata2	4,21	9,87	164,51
				Min	3,2	8,24	111,04
				Max	5,5	7,57	223,90
				Rata2	4,21	6,16	155,87
				Min	3,2	6,35	164,65
Kelas II	4	Max	47,524	Max	5,5	7,56	185,50
				Rata2	4,21	6,15	129,08
				Min	3,2	6,33	136,31
		Rata2	38,262	Rata2	4,21	6,15	129,08
				Min	3,2	6,33	136,31

DO Baku Mutu		Debit Sungai		DO		Lt	X
Kategori	(mg/L)	Kategori	(m3/detik)	Kategori	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)
Kelas I	6	Min	21,519	Max	5,5	7,53	151,14
				Rata2	4,21	6,12	104,96
				Min	3,2	6,29	110,79
				Max	5,5	5,97	193,71
				Rata2	4,21	4,86	140,00
				Min	3,2	5,17	155,35
		Max	47,524	Max	5,5	5,96	160,42
				Rata2	4,21	4,84	115,86
				Min	3,2	5,16	128,53
				Max	5,5	5,93	130,64
				Rata2	4,21	4,82	94,16
				Min	3,2	5,13	104,43

*Sumber : Hasil Perhitungan (2018)*

Berdasarkan hasil optimasi dengan program dinamik yaitu pada Tabel 4.43–Tabel 4.45 dapat disimpulkan bahwa konsentrasi BOD limbah terbesar yang boleh dibuang ke sungai Kali Surabaya untuk memenuhi BMA kelas I pada segmen Cangkir – Bambe adalah 194,74 mg/L, segmen Bambe – Karangpilang adalah 197,65 mg/L dan segmen Karangpilang – Sepanjang adalah 193,71 mg/L. Syarat untuk membuang air limbah dengan konsentrasi BOD tersebut yaitu pada saat debit sungai dan nilai DO sungai maksimum.

Optimasi dilakukan untuk menjaga sungai Kali Surabaya agar sesuai dengan peruntukannya. Pada titik sampling Karangpilang air sungai digunakan sebagai air baku untuk PDAM. Apabila kualitas air sungai tidak dijaga maka akan berakibat pada peningkatan biaya operasional pengolahan air baku untuk air minum. Upaya yang dapat dilakukan agar nilai BOD maksimum terpenuhi yaitu dengan membuat Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) komunal untuk limbah domestik. Selain itu, peraturan dan pemantauan terkait kualitas air limbah industri yang dibuang ke sungai Kali Surabaya harus diperketat.



**“Halaman ini sengaja dikosongkan”**

## **BAB 5**

### **KESIMPULAN DAN SARAN**

#### **5.1 Kesimpulan**

1. Besaran dan proporsi beban pencemar untuk parameter BOD dan COD yang masuk ke sungai Kali Surabaya di setiap segmen adalah :
  - Parameter BOD
    - 1) Segmen Cangkir – Bambe  
Beban pencemar dari industri sebesar 2200,06 kg/hari (17,72%), fasilitas umum sebesar 3716,57 kg/hari (29,93%), domestik sebesar 5210,63 kg/hari (41,97%), dan pertanian sebesar 1289,24 kg/hari (10,38%).
    - 2) Segmen Bambe – Karangpilang  
Beban pencemar dari industri sebesar 44,575 kg/hari (0,19%), fasilitas umum sebesar 6185,54 kg/hari (26,68%), domestik sebesar 15302,42 kg/hari (66,01%), dan pertanian sebesar 1648,45 kg/hari (7,11%).
    - 3) Segmen Karangpilang – Sepanjang  
Beban pencemar dari industri sebesar 120,53 kg/hari (0,68%), fasilitas umum sebesar 8394,34 kg/hari (42,27%), dan domestik sebesar 9244,43 kg/hari (52,05%).
  - Parameter COD
    - 1) Segmen Cangkir – Bambe  
Beban pencemar dari industri sebesar 12623,48 kg/hari (22,48%), fasilitas umum sebesar 15187,82 kg/hari (27,04%), domestik sebesar 22994,23 kg/hari (40,94%), dan pertanian sebesar 5353,43 kg/hari (9,53%).
    - 2) Segmen Bambe – Karangpilang  
Beban pencemar dari industri sebesar 248,84 kg/hari (0,25%), fasilitas umum sebesar 24369,00 kg/hari (24,57%), domestik sebesar 67707,37 kg/hari (68,26%), dan pertanian sebesar 6863,09 kg/hari (6,92%).

- 3) Segmen Karangpilang – Sepanjang  
 Beban pencemar dari industri sebesar 1807,11 kg/hari (2,43%), fasilitas umum sebesar 32227,86 kg/hari (43,37%), dan domestik sebesar 40281,85 kg/hari (54,2%)
  
2. Daya tampung beban pencemaran Kali Surabaya untuk parameter BOD dan COD disetiap segmen adalah :
  - Parameter BOD
    - 1) Segmen Cangkir – Bambe DTBP sebesar 1681,57 kg/hari.
    - 2) Segmen Bambe – Karangpilang DTBP sebesar 1138,15 kg/hari.
    - 3) Segmen Karangpilang – Sepanjang DTBP sebesar 1398,78 kg/hari.
  - Parameter COD
    - 1) Segmen Cangkir – Bambe DTBP sebesar 12396,65 kg/hari.
    - 2) Segmen Bambe – Karangpilang DTBP sebesar 8150,84 kg/hari.
    - 3) Segmen Karangpilang – Sepanjang DTBP sebesar 9681,43 kg/hari.
  
3. Konsentrasi BOD maksimum yang boleh dibuang ke Sungai Kali Surabaya berdasarkan BMA kelasnya adalah:
  - BMA Kelas 1
    - 1) Segmen Cangkir – Bambe 194,74 mg/L.
    - 2) Segmen Bambe – Karangpilang 197,65 mg/L
    - 3) Segmen Karangpilang – Sepanjang 193,71 mg/L
  - BMA Kelas 2
    - 1) Segmen Cangkir – Bambe 223,91 mg/L
    - 2) Segmen Bambe – Karangpilang 196,82 mg/L
    - 3) Segmen Karangpilang – Sepanjang 223,90 mg/L
  - BMA Kelas 3
    - 1) Segmen Cangkir – Bambe 280,95 mg/L
    - 2) Segmen Bambe – Karangpilang 299,13 mg/L
    - 3) Segmen Karangpilang – Sepanjang 281,92 mg/L

## 5.2 Saran

1. Perlu adanya kajian pendahuluan terkait variabel *point sources* yaitu debit dan kualitas air limbah industri yang masuk ke sungai Kali Surabaya. Industri mencakup yang sudah memiliki izin usaha namun belum melaporkan hasil analisa *effluent* air limbah maupun industri yang belum memiliki izin usaha.
2. Perlu adanya kajian pendahuluan terkait variabel *diffuse sources* yaitu debit dan kualitas air limbah bersumber dari domestik, fasilitas umum, pertanian, dan peternakan.
3. Perlu adanya penelitian lanjutan dengan penambahan segmen sungai dan parameter pencemar.

**“Halaman ini sengaja dikosongkan”**

## DAFTAR PUSTAKA

- Abdullah, A., H., Nur, L., Z., A. & Marlina A. (2015). **Analysis of Students' Errors in Solving Higher Order Thinking Skills (HOTS) Problems for the Topic of Fraction.** Canadian Center of Science and Education. Vol. 11(21):1991-2025.
- Aidawayati, R., Aminah, K. & Anajaya, A. (2013). Model Antrean Pesawat Terbang di Bandar Udara Internasional Hasanuddin Makassar. **Jurnal Matematika, Statistika dan Komputasi** (1) :11.
- Ayuningtyas, R. D. 2009. **Proses Pengolahan Limbah Cair di RSUD Dr. Moewardi Surakarta.** Surakarta : Universitas Sebelas Maret.
- Badan Pusat Statistik Kota Pasuruan. 2017. Kota Pasuruan Dalam Angka 2017.
- Badan Standarisasi Nasional. 1991. SNI 06-2412-1991 tentang Metode pengambilan contoh kualitas air
- Badan Standarisasi Nasional. 2008. SNI 6989.57:2008 tentang Air dan Air Limbah—Bagian 57: Metode Pengambilan Contoh Air Permukaan.
- Badan Standarisasi Nasional. 2008. SNI 6989.59:2008 tentang Air dan air limbah – Bagian 59:Metoda pengambilan contoh air limbah.
- Badan Standarisasi Nasional. 2008. SNI 8066:2015 tentang Tata Cara Pengukuran Debit Aliran Sungai dan Saluran Terbuka Menggunakan Alat Ukur Arus dan Pelampung.
- Camargo, R. D. A., Calijuri, M. L., Santiago, A. D. F., Couto, E. D. A. D., dan Silva, M. D. F. M. 2010. Water Quality Prediction Using The QUAL2Kw Model in a Small Karstic Watershed in Brazil. **Acta Limnologica Brasiliensia**, 22(4), hal.486-498.
- Chapra, 1997. **Surface Water Quality Modelling.** New York : McGraw-Hill.
- Chapra, S. dan Pelletier, G. 2008 . QUAL2Kw—theory and documentation (version 5.1). **A Modeling Framework for Simulating River and Stream Water Quality.** Washington : Department of Ecology—Washington State.
- Deksis, T., Meirlaen, J., Ashton, P. J., dan Vanrolleghem, P. A. 2004. Simplifying Dynamic River Water Quality Modeling : A

- case study of inorganic dynamics in the Crocodile River (South Africa). **International Journal of Environmental Pollution**, Vol. 155, hal. 303–320.
- Dinas Lingkungan Hidup Kota Pasuruan. 2015. Ringkasan Eksekutif Dokumen Informasi Kinerja Pengelolaan Lingkungan Hidup Daerah Kota Pasuruan Tahun 2016.
- Effendi, H. 2003. **Telaah Kualitas Air Bagi Pengelolaan Sumber Daya dan Lingkungan Perairan**. Yogyakarta: Kanisius.
- Draper, N.R. and Smith, H. 1992. **Applied Regression Analysis**, Second Edition. New York : John Wiley and sons, Inc.
- Fatmawati, R., Masrevaniah, A., dan Solichin, M. 2012. Kajian Identifikasi Daya Tampung Beban Pencemaran Kali Ngrowo dengan Menggunakan Paket Program QUAL2Kw. **Jurnal Teknik Pengairan**, 3(2), hal.122–131.
- Fadly, N.A. 2008. **Daya Tampung Dan Daya Dukung Sungai Ciliwung Dan Strategi Pengelolaannya**. Skripsi. Jakarta: Fakultas Teknik Universitas Indonesia.
- Hemant, Bhoir Sanrabh. 2014. River Water Quality Modelling : Godawari River. **International Journal of Science, Engineering and Technology Research (IJSETR)**, Volume 3, Issue 12.
- Hendrasarie, N., dan Cahyarani. 2010. Kemampuan Self Purification Kali Surabaya, Ditinjau Dari Parameter Organik Berdasarkan Model Matematis Kualitas Air. **Environmental Teknologi: Jurnal Ilmiah Teknik Lingkungan**, 2(1), hal.1-11.
- Hendriarianti, E. 2015. **Manual Model Kualitas Air Sungai: QUAL2Kw**. Surabaya: Laboratorium Manajemen Kualitas Lingkungan, Jurusan Teknik Lingkungan ITS Surabaya.
- Iriawan, N. 2006. **Mengolah Data Statistik Dengan Mudah Menggunakan Minitab 14**. Yogyakarta : Andi.
- Irsanda, P. G. R., Karnaningroem, N., dan Bambang, D. 2014. Analisis Daya Tampung Beban Pencemaran Kali Pelayaran Kabupaten Sidoarjo Dengan Metode Qual2kw. **Jurnal Teknik ITS**, 3(1), hal.D47-D52.
- Kannel, P. R., Lee, S., Lee, Y. S., Kanel, S. R, dan Pelletier, G. J. 2007. Application of Automated QUAL2Kw for Water Quality

- Modeling and Management In The Bagmati River,Nepal. **Ecological Modelling**, 202(3), hal.503-517.
- Karnaningroem, N. 2007. **Analisa Risiko Bagi Jaminan Kualitas Air Produksi PDAM Ngagel III Surabaya**. Penelitian Hibah A2 Teknik Lingkungan. Teknik Lingkungan FTSP ITS, Surabaya.
- Kelompok Kerja Sanitasi Kota Pasuruan. 2011. Buku Putih Sanitasi Kota Pasuruan.
- Kementerian Lingkungan Hidup. 2010. Peraturan Menteri Negara Lingkungan Hidup Nomor 01 Tahun 2010 Tentang Tata Laksana Pengendalian Pencemaran Air.
- Kementerian Lingkungan Hidup. 2003. Keputusan Menteri Negara Lingkungan Hidup Nomor 110 Tahun 2003 Tentang Pedoman Penetapan Daya Tampung Beban Pencemaran Air Pada Sumber Air.
- Kristanto, P. 2002. **Ekologi Industri**. Yogyakarta : ANDI.
- Albert Kurniawan. 2010. **Belajar Mudah SPSS Untuk Pemula**. Yogyakarta: Mediakom.
- Lee, C.C. dan Lin, Sun Dar. 1999. **Handbook Environmental Engineering Calculations**. New York: McGRAW-HILL.
- Mohapatra, S., Rao, K.S., dan P. Venkateswarlu. 2010. Review on Cadmium Removal from Aqueous Solutions. **International Journal of Engineering, Science and Technology**. 2 (7) : 81-103
- Noerhayati, Eko. 2015. **Model Neraca Air Daerah Aliran Sungai Dengan Aplikasi Minitab**. Universitas Islam Malang : Badan Penerbit Fakultas Ekonomi.
- Pelletier, G dan Chapra, S. 2006. **A Modelling Framework or Simulating River and Stream Water Quality**. Washington: Environmental Assessment Program, Olympia.
- Pemerintah Republik Indonesia. 2003. Keputusan Menteri Lingkungan Hidup No. 110 Tahun 2003 tentang Pedoman Penetapan Daya Tampung Beban Pencemaran Air pada Sumber Air.
- Pemerintah Republik Indonesia. 2001. Peraturan Pemerintah No.82 Tahun 2001 tentang Kualitas dan Pengendalian Pencemaran Air.



- Pemerintah Republik Indonesia. 2009. Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 32 Tahun 2009 tentang Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup.
- Poedjiastoeti, Hermin dan Indrawati, Rosiana. 2015. "Simulation of Pollution Load Capacity Using QUAL2Kw in Babon River". **International Conference : Integrated Solution to Overcome the Climate Change Impact on Coastal Area**. Semarang, Indonesia. Paper No. C-V-261.
- Purnomo, Alfian. 2011. **Optimasi Limpasan Air Limbah Ke Kali Surabaya (Segmen Sepanjang-Jagir) Dengan Program Dinamis**. Tesis. Jurusan Teknik Lingkungan FTSP ITS, Surabaya.
- Rahmawati, A.A dan R. Azizah. 2005. Perbedaan Kadar BOD, COD, TSS, dan MPN Coliform Pada Air Limbah, Sebelum dan Sesudah Pengolahan di RSUD Nganjuk. **Jurnal Kesehatan Lingkungan** 2 (1) : 97-110.
- Sagara, M. R. N. 2013. **Identifikasi dan Prediksi Kualitas Air di Kali Bokor Surabaya Menggunakan Metode Qual2Kw**. Tugas Akhir. Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan. Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.
- Salmin. 2005. Oksigen Terlarut (DO) dan Kebutuhan Oksigen Biologi (BOD) Sebagai Salah Satu Indikator untuk Menentukan Kualitas Perairan. *Oseana*. Vol. XXX (3) : 21-26.
- Siagian, P. 1987. **Penelitian Operasional : Teori dan Praktek**. Jakarta : Penerbit UI
- Sulistyo dan Setijanto. 2008. **Habitat Preference and Spatial Distribution of *Mystus Nigriceps* at the Serayu Catchment Areal**. Penelitian. Jurusan Perikanan dan Kelautan Universitas Jenderal Soedirman. Purwokerto.
- Sumiyarsono, Elmi. 2018. **Model Pengendalian Pencemaran Air Kali Surabaya**. Disertasi. Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik Sipil, Lingkungan dan Kebumihan. Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.
- Taha, H. A. 1982. **Operation Research An Introduction**. New York : Macmillan Publishing Co., Inc.

**LAMPIRAN A**  
**DOKUMENTASI KEGIATAN**



**Tambangan Cangkir  
(Titik Sampling A)**



**Tambangan Bambe  
(Titik Sampling B)**



**Karangpilang  
(Titik Sampling C)**



**Sepanjang  
(Titik Sampling D)**



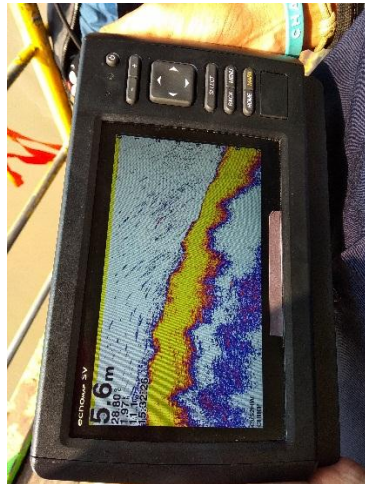
**Sampling Kualitas Air**



**Pengukuran Kecepatan**



**Pengukuran Jarak**



**Pengukuran Kedalaman**



**Analisis Sampel Di Laboratorium**



**Analisis Sampel Di Laboratorium**



**Pengukuran Lebar Sungai**

**“Halaman ini sengaja dikosongkan”**



## LAMPIRAN B

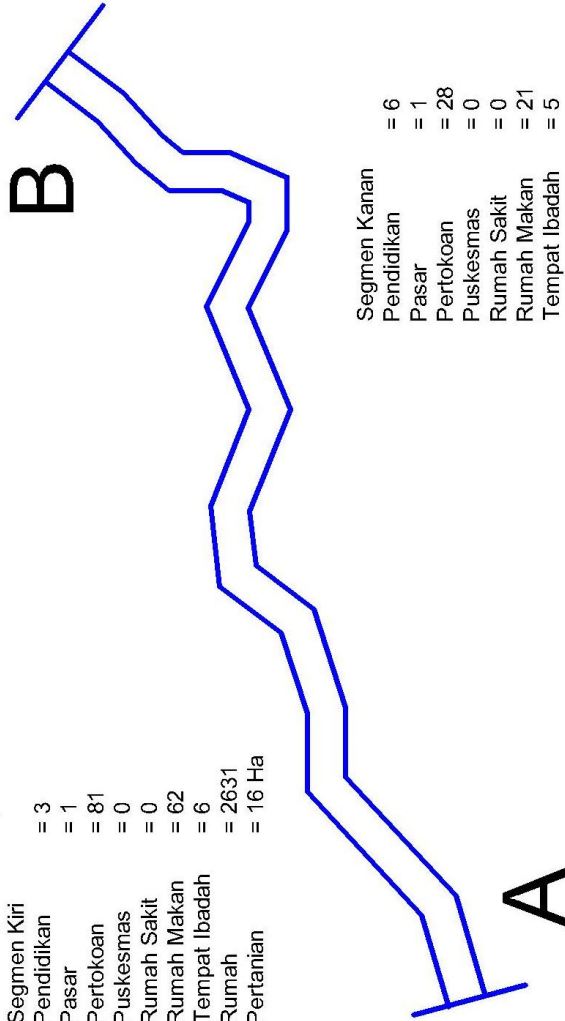
### SEGMENTASI DAN PROFIL KALI SURABAYA



Peta Kali Surabaya Segmen Cangkir (A) – Sepanjang (D)  
Sumber : Google Earth (2018)

## Profil Segmen A-B km 9,15 - 5,5

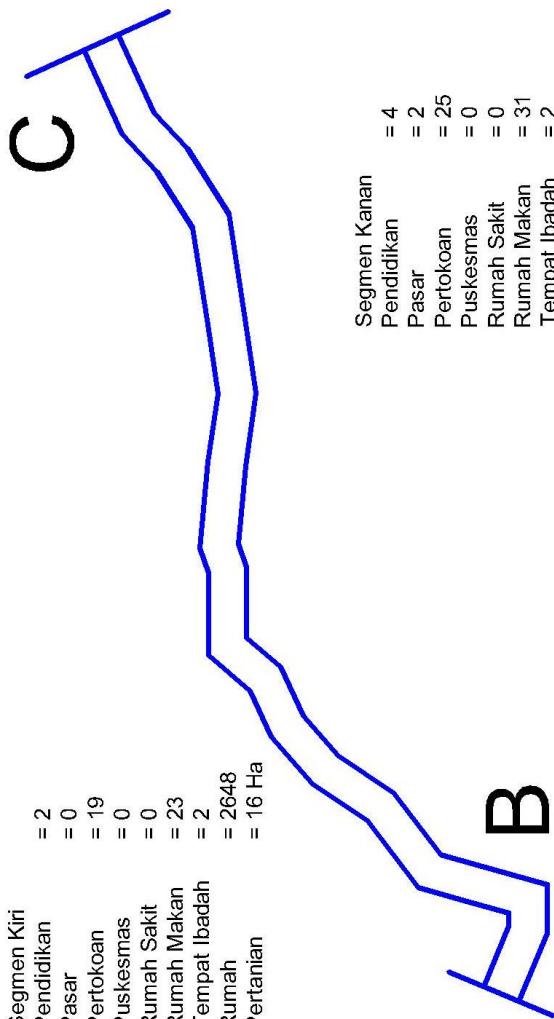
Segmen Kiri  
 Pendidikan = 3  
 Pasar = 1  
 Pertokoan = 81  
 Puskesmas = 0  
 Rumah Sakit = 0  
 Rumah Makan = 62  
 Tempat Ibadah = 6  
 Rumah = 2631  
 Pertanian = 16 Ha



Segmen Kanan  
 Pendidikan = 6  
 Pasar = 1  
 Pertokoan = 28  
 Puskesmas = 0  
 Rumah Sakit = 0  
 Rumah Makan = 21  
 Tempat Ibadah = 5  
 Rumah = 3550  
 Pertanian = 90,2 Ha

## Profil Segmen B-C km 5,5 - 1,8

Segmen Kiri  
 Pendidikan = 2  
 Pasar = 0  
 Pertokoan = 19  
 Puskesmas = 0  
 Rumah Sakit = 0  
 Rumah Makan = 23  
 Tempat Ibadah = 2  
 Rumah = 2648  
 Pertanian = 16 Ha



Segmen Kanan  
 Pendidikan = 4  
 Pasar = 2  
 Pertokoan = 25  
 Puskesmas = 0  
 Rumah Sakit = 0  
 Rumah Makan = 31  
 Tempat Ibadah = 2  
 Rumah = 4021  
 Pertanian = 34,2 Ha



Diagram illustrating a road network with two main segments, C and D, connected by a central horizontal road. The diagram shows the layout of the road and the associated land use data for each segment.

**Segment C (Left Side):**

- Segmen Kiri = 3
- Pendidikan = 1
- Pasar = 28
- Pertokoan = 0
- Puskesmas = 0
- Rumah Sakit = 35
- Rumah Makan = 2
- Tempat Ibadah = 1765
- Rumah = 0 Ha
- Pertanian = 0 Ha

**Segment D (Right Side):**

- Segmen Kanan = 4
- Pendidikan = 1
- Pasar = 37
- Pertokoan = 1
- Puskesmas = 1
- Rumah Sakit = 47
- Rumah Makan = 3
- Tempat Ibadah = 2680
- Rumah = 0 Ha
- Pertanian = 0 Ha

## **LAMPIRAN C**

### **PROSEDUR ANALISIS LABORATORIUM**

#### **1. Analisis BOD (*Biochemical Oxygen Demand*)**

##### **a. Alat dan Bahan:**

- Larutan buffer fosfat
- Larutan Magnesium Sulfat
- Larutan Kalium Klorida
- Larutan Feri Klorida
- Bubuk inhibitor nitrifikasi
- Benih inoculum, berasal dari tanah disekitar sungai sebanyak 10 gr diencerkan dengan 100 mL air
- Larutan Mangan Sulfat
- Larutan pereaksi oksigen
- Indikator amilum 0,5%
- Asam sulfat pekat
- Larutan standart natrium tiosulfat 0,0125 N
- Aerator untuk mengaerasi air pengencer
- Drum atau ember untuk air pengencer
- 1 buah labu ukur berukuran 500 mL
- Botol winkler 300 mL dan botol winkler 150 mL sebanyak 2 buah
- Inkubator suhu 20°C
- Pipet 10 mL dan 5 mL
- Gelas ukur 100 mL 1 buah
- Buret 25 mL atau 50 mL
- Erlenmeyer 200 mL 1 buah

##### **b. Prosedur Analisis:**

###### **Pembuatan Larutan Pengencer**

Air pengencer tergantung banyak sampel yang akan dianalisis dan pengencerannya, prosedur adalah sebagai berikut:

- Tambahkan 1 mL larutan buffer fosfat per liter
- Tambahkan 1 mL larutan Magnesium Sulfat per liter
- Tambahkan 1 mL larutan Kalium Klorida per liter
- Tambahkan 1 mL larutan Feri Klorida per liter

- Tambahkan 10 mg bubuk inhibitor
- Aerasi minimal 2 jam
- Tambahkan 1 mL larutan benih per liter air

### **Prodsedur BOD**

#### **Menentukan Pengenceran**

Untuk menganalisis BOD harus diketahui besarnya pengenceran melalui angka  $Kmno_4$  sebagai berikut:

$$P = \frac{\text{Angka } KMnO_4}{4 \text{ atau } 5}$$

#### **Prosedur BOD dengan winkler**

- Siapkan 1 buah labu ukur 500 mL dan taungkan sampel sesuai dengan perhitungan pengenceran, tambahkan air pengencer sampai batas labu
- Siapkan 2 buah botol winkler 300 mL dan 1 buah botol winkler 300 mL dan 150 mL
- Tuangkan air dalam labu takar tadi ke dalam botol winkler 300 mL dan 150 mL sampai tumpah
- Tuangkan air pengencer ke botol winkler 300 mL dan 150 mL sebagai blanko sampai tumpah
- Masukkan kedua botol winkler 300 mL ke dalam inkubator 20°C selama 5 hari
- Kedua botol winkler 150 mL yang berisi air dianalisis oksigen terlarutnya dengan prosedur sebagai berikut:
  - Tambahkan 1 mL larutan Mangan Sulfat
  - Tambahkan 1 mL larutan pereaksi oksigen
  - Botol ditutup dengan hati-hati agar tidak ada gelembung udaranya lalu balik-balikkan beberapa kali
  - Biarkan gumpalan mengendap 5-10 menit
  - Tambahkan 1 mL Asam Sulfat pekat, tutup dan balik-balikkan
  - Tuangkan 100 mL larutan ke dalam erlenmeyer 250 mL
  - Titrasi dengan larutan Natrium Tiosulfat 0,0125 N sampai warna menjadi coklat muda

- Tambahkan 3-4 tetes indikator amilum dan titrasi dengan Natrium tiosulfat hingga warna biru hilang
- Setelah 5 hari, analisis kedua larutan dalam botol winkler 300 mL dengan analisis oksigen terlarut.
- Hitung BOD dengan rumus berikut:

$$BOD_5^{20} = \frac{[(X_0 - X_5) - (B_0 - B_5)] \times (1 - P)}{P}$$

$$P = \frac{mL\ sampel}{volume\ hasil\ pengenceran\ (500\ mL)}$$

Keterangan:

- $X_0$  : DO sampel pada  $t = 0$
- $X_5$  : DO sampel pada  $t = 5$
- $B_0$  : DO blanko pada  $t = 0$
- $B_5$  : DO blanko pada  $t = 0$
- $P$  : derajat pengenceran

## 2. Analisis COD (*Chemical Oxygen Demand*)

### a. Alat dan Bahan:

- Larutan kalium dikromat ( $K_2Cr_2O_7$ ) 0,1 N
- Kristal perak sulfat ( $Ag_2SO_4$ ) dicampur dengan asam sulfat ( $H_2SO_4$ )
- Kristal merkuri sulfat ( $Hg_2SO_4$ )
- Larutan standar Fero Amonium Sulfat (FAS) 0,05 N
- Larutan indikator Fenantrolin Fero Sulfat (Feroin)
- Erlenmeyer 250 mL 2 buah
- Buret 25 mL atau 50 mL 1 buah
- Alat refluks dan pemanasnya
- Pipet 5 mL, 10 mL
- Pipet tetes 1 buah
- *Beaker glass* 50 mL, 1 buah
- Gelas ukur 25 mL, 1 buah

### b. Prosedur Analisis:

- Masukkan 0,4 gram kristal  $Hg_2SO_4$  ke dalam masing-masing erlenmeyer.
- Tuangkan 20 mL air sampel dan 20 mL air akuades (sebagai blanko) ke dalam masing-masing erlenmeyer.

- Tambahkan 10 mL larutan  $K_2Cr_2O_7$  N.
- Tambahkan 25 mL larutan campuran  $Ag_2SO_4$  .
- Alirkan pendingin pada kondensor dan pasang erlenmeyer COD.
- Nyalakan alat pemanas dan refluks larutan tersebut selama 2 jam.
- Biarkan erlenmeyer dingin dan tambahkan air akuades melalui kondensor sampai volume 150 mL.
- Lepaskan erlenmeyer dari kondensor dan tunggu sampai dingin.
- Tambahkan 3-4 tetes indikator Feroiin.
- Titrasi kedua larutan di erlenmeyer tersebut dengan larutan standar FAS 0,05 N hingga warna menjadi merah/coklat.
- Hitung COD sampel dengan rumus:

$$COD (mg O_2/L) = \frac{(A-B) \times N \times 8000}{Vol \text{ sampel}} \times p$$

Keterangan:

A: mL FAS titrasi blanko

B: mL FAS titrasi sampel

N: normalitas larutan FAS

P: pengenceran

### 3. Analisis DO

#### a. Alat dan Bahan:

- Larutan mangan sulfat ( $MnSO_4$ )
- Larutan pereaksi oksigen
- Larutan asam sulfat ( $H_2SO_4$ ) pekat
- Larutan indikator amilum 1 %
- Larutan standart natrium tiosulfat 0,0125 N
- Botol winkler 150 mL 1 buah
- Gelas ukur 100 mL 1 buah
- Erlenmeyer 250 mL 1 buah
- Buret 25 mL 1 buah
- *Beaker glass* 50 mL 1 buah
- Pipet 5 mL dan 10 mL
- Pipet tetes 1 buah

**b. Prosedur Analisis:**

- Mengambil sampel langsung dengan cara memasukkan botok winkler 150 ml ke dalam air sampai botol winkler penuh selanjutnya tutup botol
- Menambahkan 1 ml  $\text{MnSO}_4$  173
- Menambahkan 1 ml pereaksi oksigen
- Menutup botol winkler dengan hati-hati kemudian mengocoknya beberapa kali
- Membiarkan gumpalan mengendap selama 5-10 menit
- Menambahkan 1 ml  $\text{H}_2\text{SO}_4$  pekat kemudian menutup botol dan mengocoknya kembali
- Menuangkan 100 ml larutan ke dalam Erlenmeyer 250 ml
- Menambahkan 3 tetes indikator amilum
- Titration larutan dengan larutan natrium tiosulfat 0,0125 N sampai warna biru hilang menjadi bening
- Menghitung oksigen terlarut dengan menggunakan rumus :

$$\text{DO (mg/L)} = \frac{a \times N \times 8000}{100 \text{ mL}}$$

Keterangan:

a : volume titran (mL)

N : normalitas larutan Na-tiosulfat (0,0125 N) 100

mL : volume sampel yang digunakan dalam titration

**“Halaman ini sengaja dikosongkan”**

## BIOGRAFI PENULIS



Penulis berasal dari Kota Pasuruan, Jawa Timur namun lahir di Sidoarjo, 16 Juli 1996. Penulis menghabiskan masa pendidikan wajibnya di Kota Pasuruan dengan mengenyam pendidikan di SDN Tembokrejo II (2002-2008), SMPN 1 Pasuruan (2008-2011), dan SMAN 1 Pasuruan (2012-2014). Penulis kemudian melanjutkan pendidikan S1 di Departemen Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik Sipil, Lingkungan, dan Kebumihan (FTSLK) ITS.

Selama masa perkuliahan, penulis aktif mengikuti kegiatan organisasi dan kepanitiaan di Himpunan Mahasiswa Teknik Lingkungan (HMTL) ITS. Selain itu, penulis juga aktif mengikuti organisasi Ikatan Mahasiswa Teknik Lingkungan Indonesia (IMTLI) dalam 2 periode. Penulis aktif berpartisipasi dalam kegiatan berbasis pemberdayaan masyarakat sebagai staff HUMAS di Kampung Mandiri dan Unggul serta koordinator HUMAS di Kampung Mitra. Penulis juga aktif menjadi asisten laboratorium kimia lingkungan II serta asisten laboratorium Remediasi Badan Air dan Pesisir. Penulis juga berkesempatan berpartisipasi dalam ajang *International Youth Climate Summit*. Pelatihan yang pernah diikuti antara lain LKMM Tingkat Pra-dasar, pelatihan Bidang Konstruksi pada jabatan kerja Manajemen Air Minum, pelatihan Manajemen Pemakaian Air Isi Ulang, dan pelatihan SMK3. Penulis juga berkesempatan melaksanakan kerja praktek di PT. Cheil Jedang Indonesia, Pasuruan. Penulis dapat dihubungi via *e-mail* [aliffiaanisa@gmail.com](mailto:aliffiaanisa@gmail.com).



**“Halaman ini sengaja dikosongkan”**



PROGRAM SARJANA DEPARTEMEN TEKNIK LINGKUNGAN  
FAKULTAS TEKNIK SIPIL LINGKUNGAN DAN KEBUMIHAN-ITS  
Kampus ITS Sukolilo, Surabaya 60111. Telp: 031-5948886, Fax: 031-5928387

KTA-S1-TL-03 TUGAS AKHIR

Kode/SKS : RE141581 (0/6/0)

Periode: Genap 2017/2018

No. Revisi: 01

FORMULIR TUGAS AKHIR KTA-02  
Formulir Ringkasan dan Saran Dosen Pembimbing  
Seminar Kemajuan Tugas Akhir

Hari, tanggal : Jumat 25-Mei-18

Nilai TOEFL 463

Pukul : 09.00 - 10.00 WIB

Lokasi : Ruang Sidang Pasca Sarjana

Judul : Pemodelan Daya Tampung Beban Pencemar dan Optimasi Limpasan Air Limbah ke Kali Surabaya (Segmen Cangkir - Sepanjang)

Nama : Annisa Aliffia

Tanda Tangan

NRP. : 03211440000043

Topik : Penelitian Lapangan

No./Hal.	Ringkasan dan Saran Dosen Pembimbing Seminar Kemajuan Tugas Akhir
1.	Penulisan diperbaiki.
2.	Optimasi belum dilakukan.
3.	Penjelasan tabel perlu disesuaikan terdapat angka yg mana sbg tahu mana yg bln sesuai baku mutu.
4.	Penggunaan data primer & sekunder.
5.	Abstraknya singkat
6.	Beda Gb 4.4 & 4.5, Gb 4.6 mengapa pr. H&O-2 putus & Tabel 4.2. Beri uraian alasannya
7.	Simulasi 1-4, point source sama.
8.	Kondisi meteorologi dianggap sama.
9.	Penjelasan Bab III sesuaikan dg bagan.
10.	Cara mengukur debit, contoh memperoleh data hidrolika.
11.	Beni penjelasan utk <sup>kapan</sup> penggunaan data sekunder, & primer. Reberensi.
12.	Tabel 4.4. → sumber pencemar, Pustaka + Kari Sumarmo Blum.

Dosen Pembimbing akan menyerahkan formulir KTA-02 ke Sekretariat Program Sarjana  
Formulir ini harus mahasiswa dibawa saat asistensi kepada Dosen Pembimbing  
Formulir dikumpulkan bersama revisi buku setelah mendapat persetujuan Dosen Pembimbing

Berdasarkan hasil evaluasi Dosen Pengarah dan Dosen Pembimbing, dinyatakan mahasiswa tersebut:

1. Dapat melanjutkan ke Tahap Ujian Tugas Akhir
2. Tidak dapat melanjutkan ke Tahap Ujian Tugas Akhir

Dosen Pembimbing

Prof. Dr. Ir. Nieke Kurnaningroem, M.Sc.

**“Halaman ini sengaja dikosongkan”**



Kode/SKS : RE141581 (0/6/0)  
No. Revisi: 01

Hari, tanggal	: Senin, 02-Jul-18	Nilai TOEFL	463
Pukul	: 13.00 - 15.00 WIB		
Lokasi	: TL-102		
Judul	: PEMODELAN DAYA TAMPUNG BEBAN PENCEMAR DAN OPTIMASI LIMPASAN AIR LIMBAH KE SUNGAI KALI SURABAYA (SEGMENT CANGKIR - SEPANJANG)		

Tanda Tangan  
Annisa Annisa

[illegible]

Dosen Pembimbing akan menyerahkan formulir UTA-02 ke Sekretariat Program Sarjana  
Formulir ini harus dibawa mahasiswa saat asistensi kepada Dosen Pembimbing  
Formulir dikumpulkan bersama revisi buku setelah mendapat persetujuan Dosen Pembimbing

Berdasarkan hasil evaluasi Dosen Penquji dan Dosen Pembimbing, dinyatakan mahasiswa tersebut:

1. Lulus Ujian Tugas Akhir
2. harus mengulang Ujian Tugas Akhir semester berikutnya
3. Tugas Akhir dinyatakan gagal atau harus mengganti Tugas Akhir (lebih dari 2 semester)

Dosen Pembimbing

Prof. Dr. Ir. Nieke Karnaningroem, M.Sc.

mebo

**“Halaman ini sengaja dikosongkan”**



**ITS**  
Institut  
Teknologi  
Sepuluh Nopember

JURUSAN TEKNIK LINGKUNGAN  
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER

FORM FTA-05

### FORMULIR PERBAIKAN LAPORAN TUGAS AKHIR

Nama : Annisa Aliffia  
NRP : 03211440000043  
Judul Tugas Akhir : Pemodelan Daya Tampung Beban Pencemar dan Optimalisasi Limpasan Air Limbah ke Sungai Kali Surabaya (Segmen Cagar Papanjari)

No	Saran Perbaikan (sesuai Form UTA-02)	Tanggapan / Perbaikan (bila perlu, sebutkan halaman)
1.	Tabel 4.4.3 diperjelas.	- Sudah diperbaiki sesuai dengan saran, dapat dilihat pada Hal.
2.	Gunakan satu metode dalam perhitungan optimasi	- Perhitungan optimasi menggunakan metode Streeter-Phelps, dapat dilihat pada sub-bab 4.7 (4.7.1 - 4.7.3) 93
3.	Gambar diperjelas	- Gambar sudah diperbaiki + dilengkapi dengan penjelasan yg menerangkan gambar.
4.	Ditambahkan teori terkait Tasio BOD / COD.	- Teori sudah ditambahkan, dapat dilihat pada BAB 2, Hal. 14
5.	Penulisan diperbaiki sesuai dengan aturan penulisan yang berlaku	- Penulisan grafik direvisikan dg penulisan ilmiah - Penulisan nama tempat sudah menggunakan huruf kapital

Dosen Pembimbing,

Prof. Dr. Ir. Mieke Wernaningroem, M.Sc.

Mahasiswa Ybs.,

Annisa Aliffia

**“Halaman ini sengaja dikosongkan”**



ITS  
Institut  
Teknologi  
Sepuluh Nopember

JURUSAN TEKNIK LINGKUNGAN  
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER

FORM FTA-03

**KEGIATAN ASISTENSI TUGAS AKHIR**

Nama : Anita Affia  
NRP : 0321144000043  
Judul Tugas Akhir : Demodelan Daya Tampung Beban Pencemar dan Optimalisasi Limpasan Air Limbah ke Kali Surabaya (Segmen cangkik - Sepanjang)

No	Tanggal	Keterangan Kegiatan / Pembahasan	Paraf
1.	19/02/2018	- Data sekunder Sungai Gembong tidak time series, selain itu sampling dilakukan 2x dalam setahun dan hanya di 1 titik saja (hulu sungai) - Alternatif : mencari data sungai lain yg lengkap dari PJT	<u>Mika</u>
2.	23/02/2018	- Data sekunder yg memungkinkan utk optimasi adalah Kali Surabaya (segmen cangkik - sepanjang) - Sampling utk data Primer dilakukan 3-4 kali - Analisis COD dengan metode Soxhlet karena jumlah sampel yg digunakan lebih representatif.	<u>Mika</u>
3.	22/03/2018	- Perbaiki penulisan metodologi penelitian - G Tahun 2023 → proyeksi penduduk Thn. 2023 - Debit & kualitas point sourcer cari di referensi	<u>Mika</u>
4.	30/03/2018	- Segera lakukan running - profil tiap segmen dijabarkan lebih detail - peta sungai diperbaiki	<u>Mika</u>
5.	11/04/2018	- Model diperbaiki agar mendekati dg data input - validasi data model deng data input, nilai RMSE diusahakan dibawah 10%	<u>Mika</u>
6.	21/04/2018	- Perbaiki simulasi 3 agar sesuai dg teori self-purification - Beban pencemar dihitung sesuai metode neraca massa pada Kep Men LH No. 110 Tahun 2003	<u>Mika</u>
7.	29/04/2018	- Acc simulasi → laporan diperbaiki - Proporsi sumber pencemar → % - perbaiki penjelasan data primer & sekunder	<u>Mika</u>

Surabaya, .....  
Dosen Pembimbing

Mika  
Prof. Dr. Ir. Nette Kurnaningrum, M.Sc.



**KEGIATAN ASISTENSI TUGAS AKHIR**

Nama : Anisa Aulia  
NRP : 0321144000043  
Judul Tugas Akhir : Permodelan Daya Tampung Beban Pencemar dan Optimalisasi  
Umpan Air Limbah ke Kali Surabaya (Segmen Langkir-Separajang)

No	Tanggal	Keterangan Kegiatan / Pembahasan	Paraf
2.	4/5/2018	- Penulisan abstrak diperbaiki - Lanjutkan untuk perhitungan optimalisasi	<u>MC</u>
3.	8/5/2018	- Perhitungan Guanan satu metode - Perbaiki penulisan kata-kata sesuai dengan kaidah penulisan ilmiah	<u>MC</u>

Surabaya, .....  
Dosen Pembimbing

Prof. Dr. Ir. Nisette Kurnaningrum, M-Sc.